

# HEIDELBERGER BEITRÄGE ZUR MINERALOGIE UND PETROGRAPHIE

UNTER MITWIRKUNG VON

C. W. CORRENS  
GÖTTINGEN

F. K. DRESCHER-KADEN  
MÜNCHEN

H. STEINMETZ  
MÜNCHEN

HERAUSGEgeben VON

O. H. ERDMANNSDÖRFFER  
HEIDELBERG

ERSTER BAND  
HEFT 4

MIT 85 TEXTABBILDUNGEN, 9 DIAGRAMMEN,  
1 PETROGRAPHISCHEN KARTE UND 6 TAFELN IM TEXT



BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG  
SPRINGER · VERLAG

1948

Preis M 19.60

## Die

**„Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie“**

erscheinen zwangslässig in einzeln berechneten Heften, die zu Bänden vereinigt werden, und sind durch die Buchhandlungen zu beziehen.

Von jeder Arbeit werden 40 Sonderabdrucke unentgeltlich geliefert; weitere Exemplare können zur Zeit auch gegen Berechnung nicht zur Verfügung gestellt werden.

Der Autor erhält einen Unkostenersatz von RM 20.— für den 16seitigen Druckbogen.

Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskriptes und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht, und zwar bis zum 31. Dezember desjenigen Kalenderjahres, das auf das Jahr des Erscheinens folgt. Hieraus ergibt sich, daß grundsätzlich nur Arbeiten angenommen werden können, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind, und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Bei Arbeiten aus Instituten ist eine Erklärung des Direktors oder eines Abteilungsleiters beizufügen, daß er mit der Publikation der Arbeit aus dem Institut bzw. der Abteilung einverstanden ist und den Verfasser auf die Aufnahmebedingungen aufmerksam gemacht hat.

Manuskripte und alle redaktionelle Anfragen werden erbeten an:

*Professor Dr. O. H. Erdmannsdörffer, (17a) Heidelberg, Hauptstraße 47—51*

oder an

*Professor Dr. H. Steinmetz, (13b) München, Techn. Hochschule, Jakob-Klar-Straße 7/IV,*  
oder an

*Professor Dr. C. W. Correns, (20b) Göttingen, Lotzestraße 13*

oder an

*Professor Dr. F. K. Drescher-Kaden, (13 b) München, Ludwigstraße 16/II.*

**Springer-Verlag****Heidelberg**

Neuenheimer Landstr. 24  
Fernsprecher 2440

**Berlin-Charlottenburg 2**

Jebensstr. 1  
Fernsprecher 32 20 70

Es wird gebeten bei der Abfassung der Manuskripte folgendes zu beachten:

1. Ausführung möglichst in Maschinenschrift einseitig beschrieben.
2. Voranstellungen einer kurzen Zusammenfassung des Inhalts vor dem Text, bzw. Inhaltsübersicht mit Seitenangabe.
3. Angabe von Ursprungsort und Abschlußdatum.
4. Es ist notwendig, den vollen ausgeschriebenen Vornamen des Verfassers anzugeben.
5. Fußnoten sind laufend durch die ganze Arbeit durchzunumerieren.
6. Entsprechend den Hinweisen im Text ist am Schluß der Arbeit ein Literaturverzeichnis mit übereinstimmender Numerierung [1], [2], [3] usw. einzufügen.
7. Zeichen für Maßeinheiten, Konstanten, Formelzeichen, Abkürzungen usw. sind in Übereinstimmung mit dem GMELINSchen Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl. zu bringen.
8. Die Beschriftung der Abbildungsvorlagen wird lediglich mit Bleistift erbeten; erläuternder Text dazu ist gesondert beizufügen. Angabe einer kurzen, aber erschöpfenden Unterschrift für jede Abbildung erbeten.
9. Besondere Hervorhebungen im laufenden Text erfolgen durch *Kursivsatz* und sind im Manuskript durch *Unterstreichen* der betreffenden Wörter zu bezeichnen.
10. Für Kleindruck vorgesehene Stellen sind am Rande des Manuskriptes durch einen vertikalen Strich unter Beifügung des kleinen Buchstabens p zu kennzeichnen.

*Inhaltsverzeichnis s. Umschlagseite III.*

Mitteilung aus dem Sedimentpetrographischen Institut, Göttingen.

## Abtrennung und Bestimmung von kolloidalen Kornklassen mit einer Durchlaufzentrifuge.

Von

KARL JASMUND.

Mit 23 Textabbildungen.

(Eingegangen am 20. Dezember 1947.)

Der Hauptbestandteil der Zentrifuge ist ein um seine Längsachse rotierender Hohlzylinder, durch den man eine kolloidale Suspension in kontinuierlichem Fluß hindurchschickt. Es werden 2 Methoden beschrieben: Aus der gewichtsmäßigen Verteilung des im Zylinder abgeschiedenen Niederschlags wird die Verteilungskurve des suspendierten Materials ermittelt. Es wird zweitens die Abtrennung von Kornklassen durch wiederholtes Auszentrifugieren erörtert. Beide Verfahren werden durch Auszentrifugieren einer Quarzsuspension auf ihre praktische Brauchbarkeit geprüft.

Bei Untersuchungen lockerer Sedimentgesteine treten 2 Fragen immer in den Vordergrund:

1. Wie bestimmt man möglichst schnell und sicher die vollständige Kornverteilung des Sediments?
2. Wie erreicht man die Abtrennung einzelner Kornklassen und zwar in solcher Menge, daß weitere Untersuchungen des abgetrennten Materials möglich sind?

Beide Fragen werden uns im Folgenden beschäftigen und zwar für die Größenordnung des kolloidalen Gebietes.

Kornuntersuchungen in den Größenordnungen von  $50\text{ }\mu$  bis  $2\text{ }\mu$  Durchmesser werden zweckmäßig im Atterbergzyylinder durch Ausnutzung der Schwerkraft ausgeführt. Eine solche Schlämmanalyse ist mit wenig apparativem Aufwand durchführbar und läßt sich bei Teilchen dieser Größenordnung in einem Zeitraum von Tagen oder höchstens 1—2 Wochen erledigen. Schwieriger wird es bei Teilchen von kolloidaler Größenordnung, wie z. B. in Tonen. Unterhalb der Größenordnung von  $2\text{ }\mu$  hat es praktisch keinen Sinn mehr eine Schlämmanalyse auszuführen, weil durch die lange Zeitdauer von mehreren Wochen und sogar Monaten große Ungenauigkeiten durch Erschütterungen, Temperaturschwankungen, Diffusion usw. mit eingeschleppt werden.

Eine Zerlegung des kolloidalen Anteils ist aber durch Verwendung der Zentrifugalkraft möglich.

Trennungen und Klärungen an Suspensionen in der Zentrifuge gehören in der Wissenschaft und Technik zu den gebräuchlichsten Verfahren. Die Weiterentwicklung von hochtourigen Zentrifugen ist das Verdienst SVEDBERGS in Uppsala. Mit seinen Ultrazentrifugen werden Beschleunigungen vom vielfach hunderttausendfachen des Kräftefeldes der Erde erreicht. Die bisher erhaltenen Ergebnisse in der Bestimmung von Molekulargewichten und der Korngröße legen ein eindeutiges Zeugnis ab. Zur Lösung des hier vorliegenden Problems

sind sie aus verschiedenen Gründen wenig geeignet, besonders, weil jeweils nur sehr geringe Mengen Untersuchungsmaterial ausgeschleudert werden können. Bestimmungen der Korngröße bzw. des Molekulargewichts sind zwar auch an polydispersen Systemen ausgeführt. Eine Aufnahme der Kornverteilung in Abhängigkeit vom Durchmesser ist zunächst nur mit einer Becherzentrifuge von S. BERG<sup>1</sup> nach seiner Tauchwaagenmethode vorgenommen worden.

Beide einleitend aufgestellten Forderungen gleichzeitig erfüllen aber nur die sog. Durchlaufzentrifugen für kontinuierlichen Betrieb, ähnlich den Milchzentrifugen.

Das zur Anwendung gelangende Prinzip ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. Ein Trog wird laminar von einer polydispersen Suspension durchflossen. Der Einfachheit halber sollen nur 4 Korngrößen in ihr enthalten sein, dargestellt durch verschiedene große Kreise, die der besseren Übersicht wegen am Anfang des Trogs untereinander gezeichnet wurden. Während des Hindurchfließens der Suspension sinken die Teilchen in ihr unter dem Einfluß der Schwerkraft ab, die großen schnell, die kleinen entsprechend langsamer.

Am weitesten werden von jeder

Korngröße die Teilchen getragen, die zu Beginn des Eintritts in den Trog den größten Abstand vom Boden hatten. Für die verschiedenen Korngrößen sind diese äußersten Grenzen in der Abbildung durch einen Markierungsstrich besonders hervorgehoben. Die zweitkleinsten Teilchen werden maximal bis an das Trogende kommen, keins dieser Teilchen kann bei den gewählten Versuchsbedingungen heraus. Von den kleinsten Teilchen wird ein Teil mit hindurchgespült, der andere Teil mit geringerer Fallhöhe überlagert sich den übrigen Teilchen. Aber auch die anderen Korngrößen werden von den kleineren überlagert. Das so entstehende Spektrum ist aber irgendwie ein Abbild der Verteilungskurve des suspendierten Materials, denn, wenn das Verhältnis der 4 Größenklassen zueinander geändert wird, so ändert sich auch das abgeschiedene Spektrum. Die zu lösende Aufgabe ist nun, aus der prozentualen Gewichtsverteilung im Spektrum die Verteilungskurve zu bestimmen.

Bereitet man den Niederschlag erneut auf und schickt die so gewonnene Suspension wieder durch den Trog, so wird bei jedem Versuch ein Teil der kleinsten Teilchen hindurchgespült und der Niederschlag mit weiteren Versuchsgängen immer mehr an diesen Teilchen verarmen, bis praktisch die kleinste Korngröße vollkommen abgetrennt ist. Auf diese Weise ist es also möglich, ähnlich wie beim Atterbergschlammverfahren je nach den Versuchsbedingungen das suspendierte Material in Fraktionen verschiedener Korngröße zu zerlegen.

Für kolloidale Teilchen muß statt des Trogs ein rotierender Zylinder mit einer Einrichtung für kontinuierlichen Zu- und Ablauf der Suspension genommen werden. In Deutschland hat die Firma C. Padberg in Düsseldorf eine

<sup>1</sup> BERG, S.: Die Tauchwaagenmethode zur Bestimmung der Korngrößenverteilung. Ber. dtsch. keram. Ges. Bd. 23 (1942).

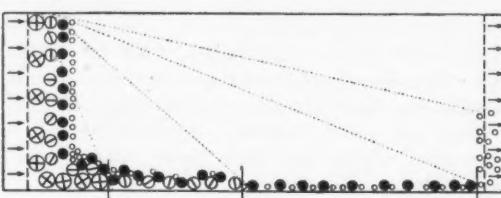


Abb. 1. Schematische Zeichnung der Bildung eines Spektrums bei kontinuierlichem Suspensionsdurchfluß durch einen Trog.

genügend hochtourige Zentrifuge (Cepa-Laboratoriumszentrifuge Nr. 1) herausgebracht (Abb. 2). Sie arbeitet nach folgendem Prinzip. Als Antrieb dient eine Luftturbine, welche über eine Spindel mit dem Zylinder (Abb. 3) gekoppelt ist. Dieser wird unten durch einen ausgebohrten Zapfen, der an dem abschraubbaren Kopfstück sitzt, geführt. In den Zapfen ragt eine Düse hinein, welche die Flüssigkeit auf ein rechtwinkliges Verteilerkreuz spritzt. Durch dieses wird sie auf die Wand des Zylinders geschleudert und füllt als freistehende Säule

den Zylinder solange, bis sie in die Ausbohrung des oberen Zylinderteiles hineinläuft und aus 3 Löchern hinausgespritzt wird. Während des Hindurchwanderns durch den Zylinder

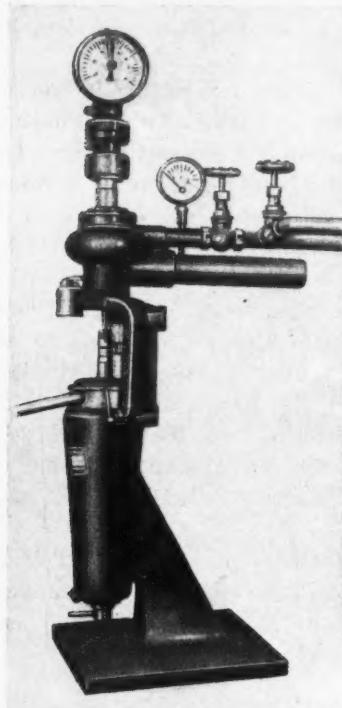


Abb. 2. Zentrifuge für kontinuierlichen Zu- und Abfluß (Firma C. Padberg, Düsseldorf).

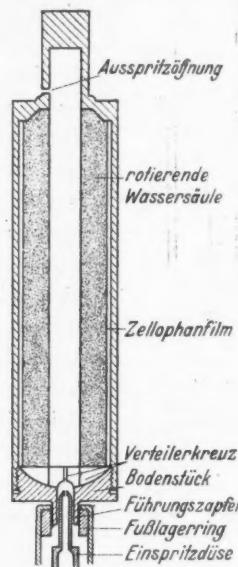


Abb. 3. Zylinder der Durchlaufzentrifuge.

sind also die suspendierten, mit der Flüssigkeitssäule herumgeschleuderten Teilchen einer hohen Zentrifugalkraft unterworfen. Ein Teil von ihnen, hauptsächlich der gröbere Anteil, wird sich auf der mit einem Film ausgelegten Wandung niederschlagen, während der andere Teil mit der Flüssigkeit hindurchgeführt und abgespritzt wird. Durch diesen Vorgang wird z. B. ein Klären von Flüssigkeiten bewirkt. Es wurden nun Versuche angestellt, diese Vorgänge im Zylinder quantitativ zu überprüfen. Die theoretischen Grundlagen sowie die durchgeföhrten Versuche und die Veränderungen, die sich an der Apparatur als notwendig herausstellten, sind Gegenstand dieses Berichtes. Es wurde angestrebt, ein möglichst einfach zu handhabendes Auswerteverfahren für die Bestimmung der Kornverteilung zu schaffen, die Fehlerquellen des Absetzvorganges im Zylinder aufzudecken und soweit zu beheben, daß die Sedimentationsbedingungen auch für gröbere Teilchen bis  $2 \mu$  noch gelten. Dieses war nötig, um Anschluß an die Schlämmanalysen im Schwerefeld der Erde zu gewinnen.

Besonders die mathematischen Ableitungen von HAUSER und REED<sup>1</sup> sind Ausgangspunkt vorliegender Arbeit. Diese haben in den USA. bei der ähnlich gebauten SHARPLES-Zentrifuge Berechnungen und Messungen angestellt. Sie bestimmten damit die Kornverteilung einer sehr feinkörnigen und wie sich herausstellte, ziemlich monodispersen Tonsuspension. NORTON und SPEIL<sup>2</sup> haben sich hieran anknüpfend mit dem Auszentrifugieren einzelner Kornklassen eines polydispersen Systems versucht, indem sie das wiederholte Auskämmen nach dem Atterbergverfahren auf die Zentrifuge übertrugen. Beide Methoden wurden auf ihre Eignung für die PADBERGSche Zentrifuge geprüft.

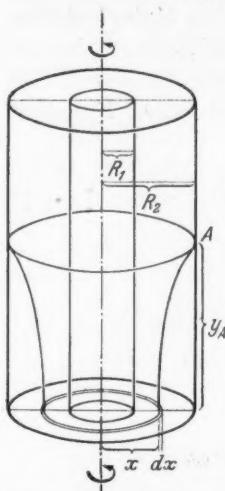


Abb. 4. Schematische Zeichnung des Absetzvorgangs im Zylinder.

Die Überlegungen von HAUSER und REED sind folgende. Verfolgt man den Weg eines Teilchens (Abb. 4), nachdem es die durch das Verteilerkreuz V verursachte Wirbelzone verlassen hat, und nun in der laminar strömenden Wassersäule durch den Zylinder getragen wird, so muß es sich je nach seiner Größe, Dichte, Form und Oberflächenbeschaffenheit einmal in bestimmtem Abstand auf der Zylinderwand absetzen, vorausgesetzt, daß der Zylinder lang genug ist. Je nach seinem Abstand, z. B.  $x = x_1$ , vom Rotationszentrum möge es eine Anfangsgeschwindigkeit parallel der Rotationsachse  $u_{(x)}$  haben und bis zu einem Punkte A im Abstand  $y_A$  gelangen. Dasselbe Teilchen würde sich, wenn es in einem größeren Abstand mit der Anfangsgeschwindigkeit  $u_{(x_2)}$  startet, in kleinerem Abstand absetzen.

Die sich bis zum Abstand  $y_A$  abscheidende Teilchenmenge  $W'_D$  mit monodispersen Teilchen vom Durchmesser  $D$  entspricht der Suspensionsmenge, welche den aus  $R_2$  und  $x$  gebildeten kreisförmigen Ring durchfließt und durch das Integral

$$\int_x^{R_2} 2\pi x dx \cdot u_{(x)}$$

erfaßt werden kann. Ist die Gesamtteilchenmenge  $W_D$  und die durch den Gesamtquerschnitt (Ring gebildet aus  $R_2$  und  $R_1$ ) hindurchströmende Suspensionsmenge  $Q$ , so läßt sich  $W'_D$  aus folgender Beziehung berechnen:

$$\frac{W'_D}{W_D} = \frac{\int_x^{R_2} 2\pi x dx \cdot u_{(x)}}{Q}. \quad (1)$$

Setzt man außerdem voraus, daß bei Eintritt in die laminar strömende Wassersäule die Teilchen — unabhängig von ihrem jeweiligen zufälligen Abstand  $x$  — eine gleich große Anfangsgeschwindigkeit  $u$  haben, so ergibt sich nach der Auflösung des Integrals folgende vereinfachte Beziehung:

$$W'_D = W_D \frac{R_2^2 - x^2}{R_2^2 - R_1^2}. \quad (2)$$

<sup>1</sup> HAUSER, E. A. and C. E. REED: Particle-size distribution in colloidal systems. J. phys. Chem. Bd. 40 (1936) S. 1169.

<sup>2</sup> NORTON, F. H. and S. SPEIL: The fractionation of a clay into closely monodispersed systems. J. Amer. ceram. Soc. Bd. 21 (1938) S. 367.

Werden  $T$  Gramm eines polydispersen Systems durch die Zentrifuge geschickt, so ist der Anteil der bis zu einem Abstand  $y_A$  absedimentierten Teilchen vom Durchmesser  $D$  bis  $D + dD$

$$\Delta W'_D = T \frac{dP}{dD} \cdot \frac{dD}{100} \frac{R_2^2 - x^2}{R_2^2 - R_1^2} \quad (3)$$

Der Faktor  $T \frac{dP}{dD} \cdot \frac{dD}{100}$  gibt den prozentualen Anteil an, den die Teilchen vom Durchmesser  $D$  bis  $D + dD$  an der Gesamtmenge der suspendierten Teilchen ausmachen (Abb. 5). Das Gesamtgewicht der Teilchen von allen vorkommenden Durchmessern  $D_{\min}$  bis  $D_{\max}$ , welche sich bis zum Abstand  $y_A$  absetzen, erhält man durch Summation, d. h. Integration über alle  $D$ -Werte

$$W_{y_A} = \sum_{D=D_{\max}}^{D=D_{\min}} \Delta W'_D = T \int_{D=D_{\max}}^{D=D_{\min}} \frac{R_2^2 - x^2}{R_2^2 - R_1^2} \frac{F(D)}{100} \cdot dD \quad (4)$$

Um zu erfahren, in welchem Abstand  $y$  sich ein Teilchen von bestimmtem Durchmesser  $D$  absetzt, muß man den Weg kennen, den es vom Startpunkt im Abstand  $x$  bis zum Absetzpunkt  $A$  durchläuft. Es muß also  $y$  in Beziehung zu  $x$  und  $D$  gebracht werden. Der jeweilige Standpunkt des Teilchens ist durch die beiden auf dieses wirkenden Kräfte gegeben, die man in 2 Komponenten zerlegen kann, deren eine senkrecht, deren andere parallel zur Rotationsachse wirkt. Für das Absinken der Teilchen im Zentrifugalfeld gilt das STOKESSEsche Gesetz. Für die andere Komponente, nämlich die Geschwindigkeitsverteilung in der hindurchfließenden Wassersäule, wurde von HAUSER und REED aus den LAMBSchen Berechnungen für laminar durchflossene Rohre entsprechend den hier vorhandenen Randbedingungen folgende Gleichung abgeleitet:

$$\frac{dy}{dt} = V \cdot K_1 \left( R_1^2 \ln \frac{x}{R_2} + \frac{R_2^2 - x^2}{2} \right); \quad K_1 = \frac{R_2^2 - R_1^2}{\frac{3R_1^4}{4} + \frac{R_2^4}{4} - R_2^2 R_1^2 - R_1^2 \ln \frac{R_1}{R_2}}, \quad (5)$$

woraus dann durch Kombinieren beider die gesuchte Beziehung zwischen  $x$ ,  $y$  und  $D$  resultiert.

$$y = \frac{18\eta \cdot V \cdot K_1}{\omega^2 \cdot \Delta \varrho \cdot D^2} \left[ \frac{R_2^2}{2} \ln \frac{R_2}{x} - \frac{R_1^2}{2} \left( \ln \frac{R_2}{x} \right)^2 + \frac{x^2 + R_1^2}{4} \right]. \quad (6)$$

Es bedeuten:

$R_2$  und  $R_1$  äußerer bzw. innerer Radius der Wassersäule,

$\eta$  Zähigkeit des Dispersionsmittels,

$V$  mittlere Geschwindigkeit der Teilchen parallel der Rotationsachse,

$\omega$  Winkelgeschwindigkeit der Zentrifuge,

$\Delta \varrho$  Dichteunterschied zwischen Teilchen und Dispersionsmittel.

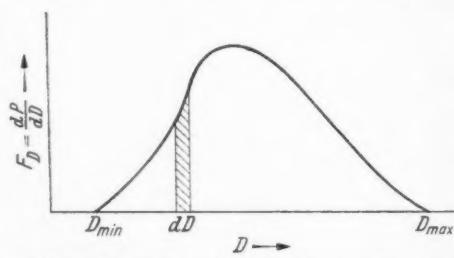
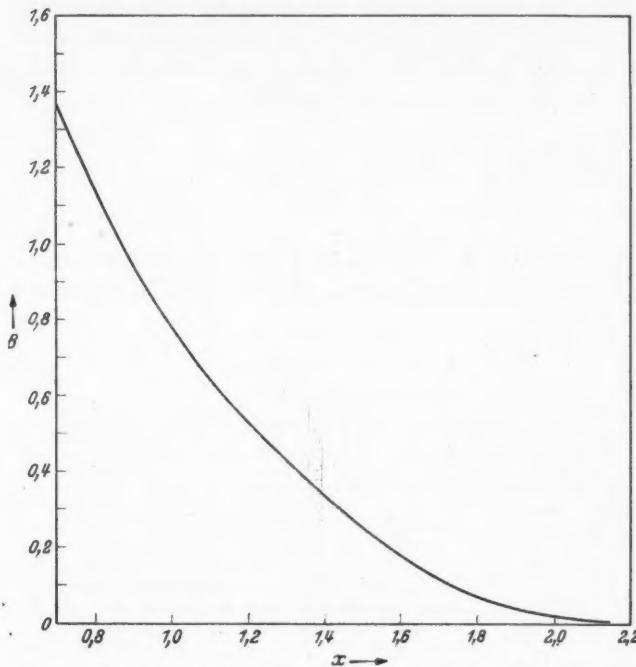


Abb. 5. Ermittlung des prozentualen Gewichtsanteils der Körner vom Durchmesser  $D$  bis  $D + dD$  an der Gesamtteilchenmenge.

Weil Gl. (6) nicht nach  $x$  auflösbar ist und Gl. (4) rechnerisch nur durch ein umständliches Näherungsverfahren gelöst werden kann, soll die Auswertung beider Gleichungen auf graphischem Wege erfolgen. Die  $W_y$ -Werte von Gl. (4) sind als Ergebnis der Sortierung der Teilchen in der Zentrifuge auch hier irgendwie ein Abbild der gesuchten Verteilungsfunktion. Da es aber nicht möglich ist, aus den  $W_y$ -Werten die Verteilungsfunktion selbst zu berechnen, muß der umgekehrte Weg eingeschlagen werden, indem nämlich verschiedene Verteilungsfunktionen angenommen, die zugehörigen  $W_y$ -Kurven errechnet [nach Gl. (4)] und in einem  $W_y$ ,  $y$ -Diagramm eingetragen werden. Diejenige  $W_y$ -Kurve, welche mit der experimentell erhaltenen übereinstimmt, ist also aus der gesuchten Verteilungsfunktion hervorgegangen.

Abb. 6. Graphische Darstellung der Funktion  $B(x)$ .

Diese Berechnungen von HAUSER und REED sollen jetzt auf die Cepa-Schnellzentrifuge übertragen werden. Die Abmessungen des Zylinders dieser Zentrifuge sind folgende:

$$R_2 = 2,2 \text{ cm}$$

$$R_1 = 0,7 \text{ cm}$$

$$y = 19 \text{ cm}.$$

Hieraus berechnet sich der konstante Faktor [Gl. (5)]  $K_1 = 1,1$ . Aus Zweckmäßigkeitsgründen sollen die Veränderlichen von Gl. (6) in folgender Weise ersetzt werden. Es wird angegeben.

$\eta$  in Centipoise,

$V$  durch die Zuflußmenge  $Q$  in  $\text{cm}^3/\text{min}$ , wobei  $V = \frac{Q}{\pi(R_2^2 - R_1^2) \cdot 60}$  ist,

$\omega$  durch  $N$  als der Zahl der Umdrehungen/Min. dividiert durch 1000, so daß  $\omega = \frac{2\pi \cdot 1000}{60} N$  wird.

$D$  durch  $D_\mu$ , was bedeutet, daß der Durchmesser in  $\mu$  statt in Zentimeter angegeben wird,

$K_1$  als Faktor mit seinem oben angegebenen Wert.

Für die Gl. (6) erhält man somit:

$$y = 2,2 \frac{\eta \cdot Q}{N^2 \cdot D_\mu} \cdot \frac{1}{D_\mu^2} \cdot B(x), \quad (6a)$$

$$B(x) = \frac{R_2^2}{2} \ln \frac{R_2}{x} - \frac{R_1^2}{2} \left( \ln \frac{R_2}{x} \right)^2 + \frac{x^2 + R_1^2}{4}. \quad (6b)$$

Faßt man die Konstanten durch den Ausdruck  $A$  zusammen, so ergibt sich für

$$y = 2,2 \cdot A \cdot \frac{1}{D_\mu^2} \cdot B_{(x)}, \quad (6c)$$

wenn

$$A = \frac{\eta \cdot Q}{N^2 \cdot \Delta \varrho} \quad (6d)$$

ist. Die Funktion  $B_{(x)}$  ist in Abb. 6 graphisch ausgewertet worden. Nach Gl. (6c) kann bei vorgegebenem  $A$ , d. h. bei festgelegten Versuchsgrößen  $\eta$ ,  $Q$ ,  $N$ ,  $\Delta \varrho$  für jedes  $D$  eine entsprechende Kurve im  $x$ ,  $y$ -Diagramm gezeichnet werden. Die Kurven geben an, wie weit ein Teilchen des Durchmessers  $D$  bis zum Absetzpunkt von der Wassersäule mitgeführt wird, wenn es im Abstand  $x$  startet. Eine solche Kurvenschar ist dann für einen bestimmten Versuch zu benutzen. Das Diagramm von Abb. 7 zeigt den Verlauf der  $D$ -Kurven bei folgenden Versuchsbedingungen:

$$\begin{aligned} N &= 15, \quad Q = 10, \\ \eta &= 1,05, \quad \Delta \varrho = 1,1. \end{aligned}$$

Man sieht, daß ein Teilchen vom Durchmesser  $D = 0,1 \mu$ , welches im Abstand  $x = 0,7$  cm anläuft, sich im Abstand  $y = 12,3$  cm absetzen wird. Wäre dasselbe Teilchen im Abstand  $x = 1,4$  cm gestartet, so hätte es sich

im Abstand  $y = 3$  cm absetzen müssen. Teilchen vom Durchmesser  $0,05 \mu$  kommen im Zylinder nur zum Absetzen, wenn sie unterhalb eines  $x$ -Wertes von 1,2 cm ihre Wanderung beginnen. Wählt man andere Versuchsgrößen, z. B. eine niedrigere Tourenzahl und eine größere Durchlaufgeschwindigkeit, so erhält man eine andere Kurvenschar, in der z. B. die Kurve des  $D$ -Wertes  $0,1 \mu$ , die  $y$ -Achse oberhalb des  $y$ -Wertes von 19 cm schneiden möge, so daß nicht mehr alle Teilchen dieser Größe auf der Zylinderwand abgeschieden werden. In dieser Art lassen sich die Grundlagen von HAUSER und REED für die Auswertung der Kornanalyse mit Hilfe der Cepa-Zentrifuge verwenden. Es geht aber aus den vorhergehenden Darlegungen hervor, wie mühselig und umständlich die

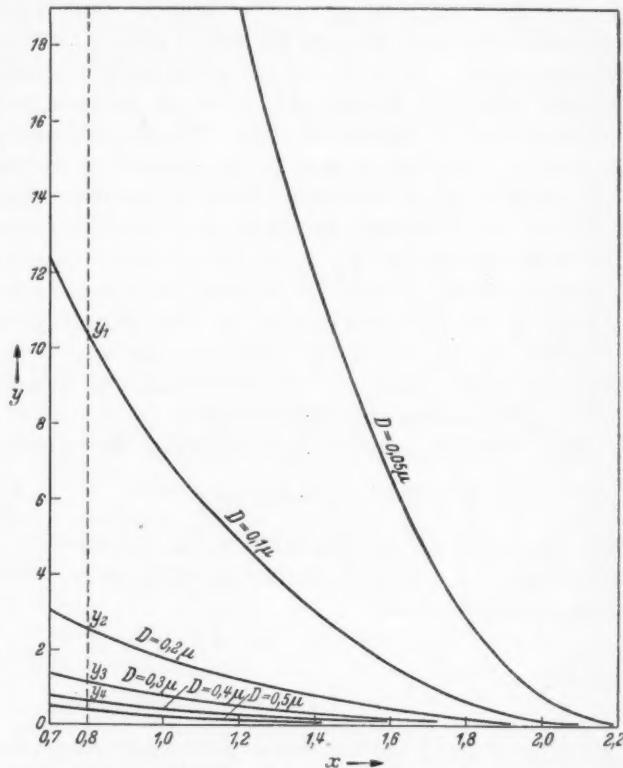


Abb. 7.  $x$ ,  $y$ ,  $D$ -Diagramm mit  $D$  als Parameter bei folgenden Versuchsbedingungen:  $n = 1500$  Umdrehungen/Min.,  $Q = 10$  ccm/Min.,  $\eta = 1,05$  Centipoise,  $\Delta \varrho = 1,1$ .

Berechnungen auf dieser Grundlage sind und wie zeitraubend es wäre, für jede neue Versuchsbedingung die Kurvenschar neu berechnen bzw. umrechnen zu müssen.

Es ergab sich also die Aufgabe, eine Kurvenschar zu schaffen, die für alle Versuchsbedingungen gilt. Schon die Form von Gl. (6c) zeigt, wie eine Verallgemeinerung möglich ist. Betrachtet man den Weg von Teilchen mit dem Durchmesser  $D = 0,1 \mu$ , die im Abstand  $x = 0,8 \text{ cm}$  starten, so werden diese sich bei gegebenen Versuchsbedingungen, d. h. also bei gegebenem  $A$  im Abstand  $y_1 = 10,3 \text{ cm}$  absetzen (Abb. 7). Entsprechend läßt sich der  $y$ -Wert für Teilchen vom Durchmesser  $D = 0,2 \mu$ ,  $0,3 \mu$ , usw. berechnen. Nun kann man aber nach Gl. (6c) die Kurve für  $D = 0,2 \mu$  in die Kurve  $D = 0,1 \mu$  überführen, wenn der Wert  $A$  viermal so groß ist, z. B. in dem die Zuflußgeschwindigkeit  $Q$  um das Vierfache erhöht wird. Es werden sich jetzt die Teilchen vom Durchmesser  $D = 0,2 \mu$  im Abstand  $y = 10,3 \text{ cm}$  absetzen. Sollen sich Teilchen von der Größe  $D = 0,3 \mu$  bzw.  $0,4 \mu$  statt bei  $y_3$  bzw.  $y_4$  im Abstand  $y_2$  abscheiden, so muß der  $A$ -Wert das  $9/4$  bzw. 4fache betragen. Erhöht man demnach die Durchlaufgeschwindigkeit um das Vierfache, so erhält man dieselbe Kurvenschar, nur würde zu  $y_1$  der  $D$ -Wert  $0,2 \mu$ , zu  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$  die  $D$ -Werte  $0,4 \mu$ ,  $0,6 \mu$ ,  $0,8 \mu$  gehören. Durch weitere Verschiebungen der  $D$ -Werte wird man also alle Kornklassen erfassen. Allerdings ist es durch Einsetzen einer ganzen Zahl als Faktor von  $A$  nicht möglich, die Kurve für  $D = 0,3 \mu$  in die von  $D = 0,2 \mu$  zu überführen. Aus diesem Grunde sollen nur die Vielfachen von 2 als Wert für den Parameter  $D$  im  $x$ ,  $y$ -Diagramm eingesetzt werden.

Die  $D$ -Werte müßten dann folgender Reihe gehorchen:

$$D = 2^{n/2}, \quad \text{wobei } n = 2 \ 1 \ 0 \ -1 \ -2 \dots \text{ ist.}$$

Der Exponent  $n/2$  ist gewählt worden, um eine noch feinere Einteilung zu ermöglichen, die bei  $2^n$  zu weitmaschig sein würde. Die Reihe sieht also folgendermaßen aus:

$$2^{\frac{1}{2}} \ 2^{\frac{1}{4}} \ 2^{\frac{1}{8}} \ 2^{-\frac{1}{8}} \ 2^{-\frac{1}{4}} \ 2^{-\frac{1}{2}} \ \dots \ \dots \ \dots$$

oder

$$2 \ 1,41 \ 1 \ 0,7 \ 0,5 \ 0,35 \ \dots \ \dots \ \dots$$

Wird für  $A$  und  $B$  ein konstanter Zahlenwert eingesetzt, müssen auch die  $y$ -Werte eine solche Reihe durchlaufen. Es ist zweckmäßig,  $A$  so festzulegen, daß bei einem  $x$ -Wert von  $0,7 \text{ cm}$  ganze Zahlen entstehen, die  $y$ -Reihe also folgendermaßen aussieht:

$$16 \ 8 \ 4 \ 2 \ 1.$$

Hiernach werden also die Teilchen bis zum Abstande  $y = 16 \text{ cm}$  erfaßt. Nun beträgt die Zylinderlänge zwar  $19 \text{ cm}$ , doch sollen die letzten  $3 \text{ cm}$  nicht zu den Messungen herangezogen werden, weil das Strömungsbild in diesem Teil der Flüssigkeitssäule infolge des Ablaufens der Flüssigkeit sowieso verzerrt ist. Die Absetzbewegung der Teilchen in diesem obersten Teil des Zylinders würde also durch den Ansatz der Rechnung nicht richtig wiedergegeben werden. Teilchen, welche im kleinstmöglichen Abstand  $x = 0,7 \text{ cm}$  anlaufen, werden den weitesten Weg zurücklegen, und man kann berechnen, welche Versuchsbedingungen zugrunde zu legen sind, damit diese Teilchen (vom Durchmesser  $D^*$ ) sich im Abstand

$y = 16 \text{ cm}$  absetzen. Nach Gl. (6c) gilt dann für  $B_{x=0,7} = 1,37$

$$16 = 2,2 \cdot \frac{A}{D_{\mu}^{*2}} \cdot 1,37, \quad (6e)$$

oder für  $A = \frac{\eta \cdot Q}{N^2 \cdot \Delta \varrho}$  eingesetzt

$$\frac{\eta \cdot Q}{N^2 \cdot \Delta \varrho} = 5,3 \cdot D_{\mu}^{*2}. \quad (6f)$$

Angenommen es sei  $\eta = 1$ ,  $\Delta \varrho = 1$ ,  $N = 8$  so geht aus Gl. (6f) hervor, wie groß  $Q$  zu wählen ist, um Teilchen von  $0,25 \mu$  noch vollzählig zu erfassen, nämlich

$$Q = \frac{5,3 \cdot 0,25^2 \cdot 8^2 \cdot 1}{1} \\ = 21 \text{ cm}^3/\text{min.}$$

Nach diesen Voraussetzungen kann also ein  $x$ ,  $y$ ,  $D$ -Diagramm (Abb. 8) entsprechend demjenigen von Abb. 7 gezeichnet werden, wobei jetzt die  $D$ -Werte nach der Reihe  $2^{n/2}$  einzusetzen sind.

Die Berechnung der einzelnen Kurven ist nach Gl. (6a) erfolgt. Der für  $y = 16 \text{ cm}$  und  $x = 0,7 \text{ cm}$  richtige  $A$ -Wert ist nach Gl. (6f) durch den Ausdruck  $5,3 \cdot D^{*2}$  festgelegt. Dieser Wert gibt also an, wie man das Verhältnis der Versuchsgrößen  $\eta$ ,  $Q$ ,  $N$ ,  $\Delta \varrho$  zueinander wählen muß, damit sich Teilchen des Durchmessers  $D^*$  bis zum Abstand  $y = 16 \text{ cm}$  vollzählig absetzen. Die Kurve VII ist also die Bezugskurve

in dem Diagramm von Abb. 8. Ist  $D^*$  vorgegeben, so sind damit die Zahlenwerte der Kurven III bis XII festgelegt. Die Lage der Kurven ändert sich also nicht, wenn der Bezugskurve ein anderer  $D$ -Wert der Reihe  $2^{n/2}$  zugeordnet wird. Damit ist man von den Absolutwerten für  $D$  unabhängig geworden und im Folgenden braucht nur noch das Verhältnis der  $D$ -Werte zueinander gemäß der Reihe berücksichtigt werden.

Nachdem somit Gl. (6a) für die Auswertung hinreichend diskutiert ist, muß jetzt noch berechnet werden, wie die Mengenverteilung auf der Zylinderwand in Abhängigkeit von  $y$  ist. Auskunft hierüber gibt Gl. (4), welche die Menge der sich bis zu einem bestimmten Abstand  $y$  absetzenden Substanz angibt.

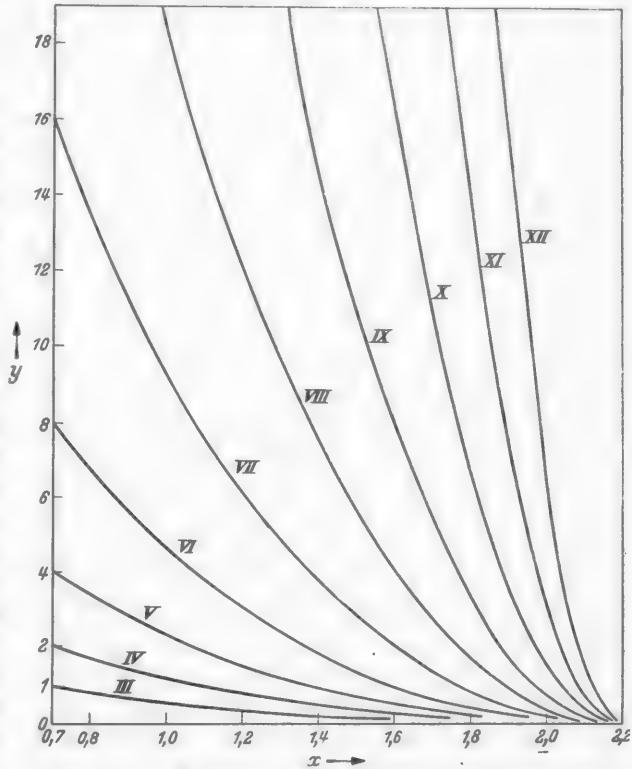


Abb. 8.  $x$ ,  $y$ ,  $D$ -Diagramm mit  $D$ -Werten der Reihe  $2^{n/2}$  als Parameter.

Die Lösung dieser Gleichung kann ebenfalls nur schrittweise erfolgen. Die Verteilungsfunktion  $F_D$  möge zunächst unberücksichtigt bleiben, indem ein isodisperses System betrachtet wird. Der erste Teil der Gl. (4), mit  $C_{(x)}$  bezeichnet

$$C_{(x)} = \frac{R_2^2 - x^2}{R_2^2 - R_1^2} = \frac{R_2^2 - [f(y, D)]^2}{R_2^2 - R_1^2}$$

ist graphisch durch Benutzung des  $x, y, D$ -Diagramms von Abb. 8 leicht aufzulösen. Zu diesem Zweck werden aus diesem Diagramm für die ausgewählten  $y$ -Werte 16 8 4 2 1 die zu den  $D$ -Kurven III bis XII usw. gehörigen  $x$ -Werte entnommen und für diese unter Benutzung des  $C, x$ -Diagramms von Abb. 9 die entsprechenden  $C$ -Werte graphisch ermittelt.

Das so für alle ausgezeichneten  $y$ -Werte erhaltene  $C, D, y$ -Diagramm mit  $y$  als Parameter zeigt Abb. 10. Der besseren Übersicht wegen sind nur die Kurven III bis XII eingezeichnet. Durch Integrieren, d. h. Bestimmen der Flächeninhalte unter den einzelnen Kurven erhält man die

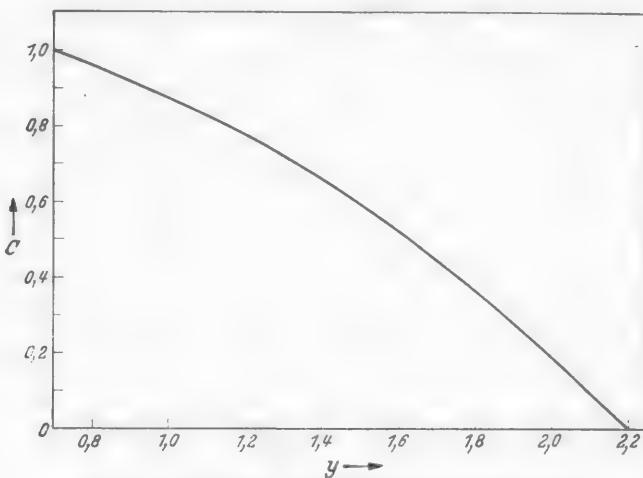


Abb. 9. Graphische Darstellung der Funktion  $C(x)$ .

$W_y$ -Werte für jeden gewünschten  $D$ -Bereich. Diesen durch Buchstaben E—N gekennzeichneten Bereiche sind die einzelnen darunterstehenden Größenintervalle zuzuordnen. Für die  $y$ -Kurven  $y = 1$  bis  $y = 16$  cm wurde der zugehörige Flächeninhalt gesondert über jeden  $D$ -Bereich, z. B.  $2\mu$  bis  $1,4\mu$ ,  $1,4\mu$  bis  $1\mu$  usw. durch Planimetrieren oder Auszählen der Millimeterquadrate ermittelt. Die so erhaltenen Werte sind zum Flächeninhalt der entsprechenden Rechtecke ins Verhältnis gesetzt und die in Prozent umgerechneten Zahlen, die im Folgenden *Trennzahlen* genannt werden sollen, in Tabelle 1 angegeben. In der ersten Spalte sind die  $y$ -Bereiche, in den darauffolgenden Spalten die Trennzahlen in Abhängigkeit zu den als Abszisse aufgetragenen  $D$ -Werten angeführt. So hat sich bis zum Abstand  $y = 4$  cm die Größenklasse E und F bereits vollkommen abgesetzt, die Klasse G erst nach einem Abstand von  $y = 8$  cm. Von dieser Klasse haben sich bis zum Abstand  $y = 1$  cm 60%, bis zum Abstand  $y = 2$  cm 75%, bis  $y = 4$  cm 92,5% abgesetzt. Aus dem Diagramm ist weiter zu entnehmen, daß sich bereits im Abstand  $y = 1$  cm auch von den Klassen geringerer Korngröße ein merklicher Anteil abgeschieden hat.

Bisher war die ganze Rechnung nur für ein isodisperses System durchgeführt worden. Um zu erfahren wieviel Prozent eines polydispersen Systems sich bis zu einem bestimmten Abstand  $y$  absetzen, muß man die Fläche unter der Verteilungskurve in Rechtecke mit den Grundlinien E, F, G ... aufteilen (vgl. Abb. 11)

und den Prozentanteil  $e, f, g \dots$  jeder dieser Größenklassen am Gesamtgewicht bestimmen. Nach der Tabelle 1 wird nun bis zum Abstand  $y = 1 \text{ cm}$  von der Größenklasse E  $e \cdot 92,5\%$ , von F  $f \cdot 75\%$ , von G  $g \cdot 60\%$  usw. abgeschieden. Die Summe über alle diese Werte ergibt  $W_1$ . Entsprechend rechnet man in der Zeile für 0 bis 2 cm  $W_2$  aus usw. Die so erhaltenen  $W_1, W_2, W_4, W_8, W_{16}$ -Werte trägt man in ein Diagramm mit  $y$  als Abszisse und  $W_y$  als Ordinate ein. Diese Diagramme geben also an, wie sich 100 g Substanz, dessen Verteilungszustand durch eine bestimmte Verteilungsfunktion bzw. -kurve darstellbar ist,

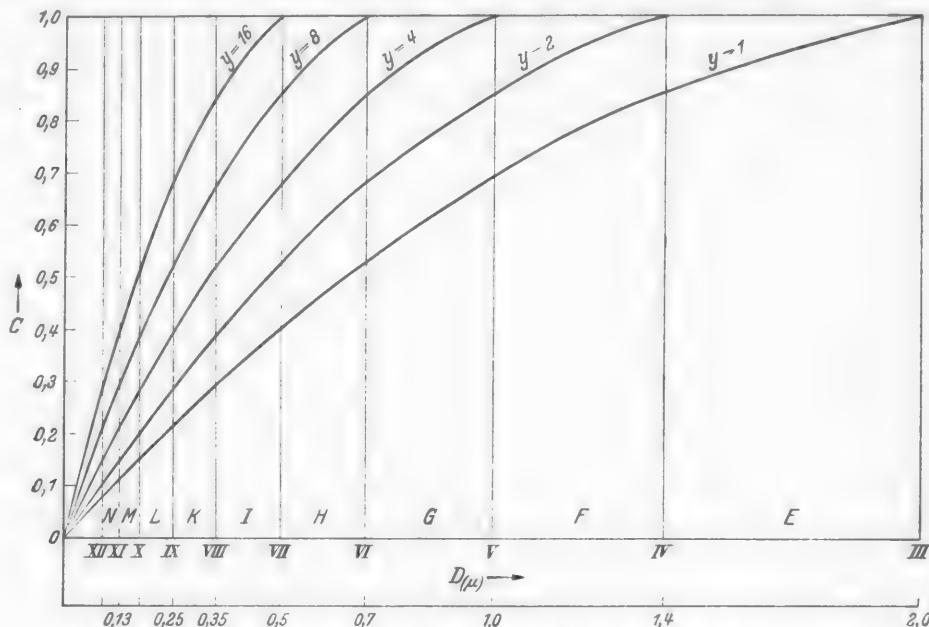


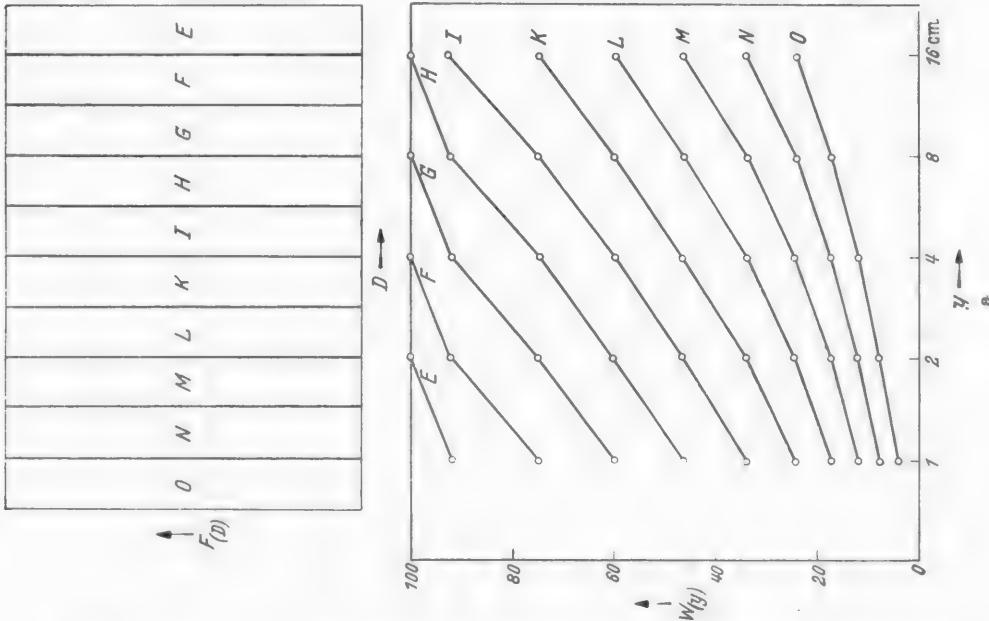
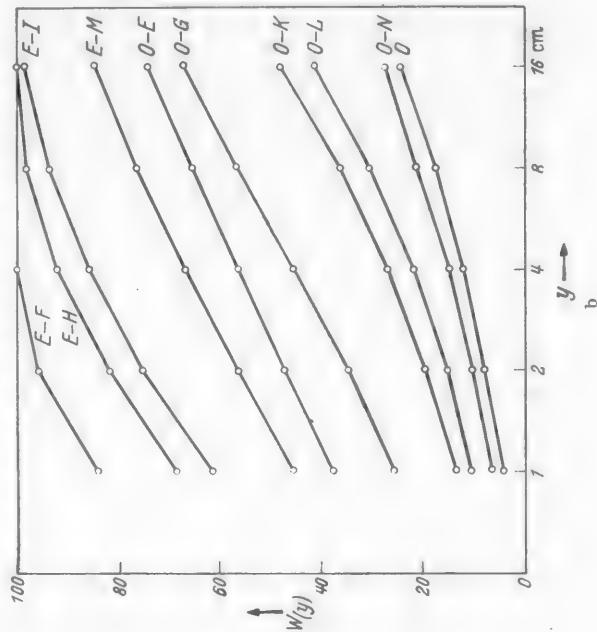
Abb. 10. Graphische Darstellung der Funktion  $C(D, y)$  mit  $y$  als Parameter.

auf der Zylinderwand als Spektrum verteilen würden. Wie bereits früher erwähnt, kann diese Kurve nur durch Vergleich der entsprechenden Spektren gefunden werden, d. h. indem man die experimentell erhaltenen  $W_y$ -Werte mit denen der aus verschiedenen Verteilungskurven errechneten  $W_y$ -Werten vergleicht. Je mehr solcher Schablonen zur Verfügung stehen, um so schneller kann zutriedenstellende Übereinstimmung zwischen experimentell erhaltenen und errechneten  $W_y$ -Werten erzielt werden.

Zur groben Orientierung muß man aus den vielen möglichen Verteilungsbildern einige markante zur Berechnung herausgreifen. Dies ist in Abb. 11 geschehen. Aus diesen wenigen Diagrammen kann schon die Art der gesuchten Verteilungskurve ermittelt werden. Es wird also diejenige  $W_y, y$ -Kurve herausgesucht, welche der experimentell ermittelten am ähnlichsten ist. Durch weiteres Abändern der jeweils zugrunde gelegten Verteilungskurve kann vollkommene Übereinstimmung der Spektrenwerte erreicht werden. Damit hat man die Verteilungskurve des zentrifugierten Materials erhalten. Diese Art der Bestimmung derselben soll im Folgenden die „Spektrenmethode“ genannt werden.

Diejenige Korngröße, die sich bis zum Abstand  $y = 1$  cm vollzählig absetzt, soll den *Grundwert* des betreffenden Spektrums angeben.

Aus Gründen, die im folgenden noch näher auseinandergesetzt werden, beginnt die Tabelle I auf der Seite der gröberen Teilchen mit dem Durchmesser  $2\mu$ . Alle größeren Körner müßten vorher abgeschlämmt werden, am besten in größeren Standgefäß, damit reichlich feinkörniges Material erhalten wird. Eine solche Abtrennung würde aber Tage und Wochen in Anspruch nehmen und so soll folgendes, abgekürzte Verfahren beschrieben werden, das eine Bestimmung der Kornverteilung nach einmaligem Abheben der Suspension aus dem Standgefäß erlaubt.



Die Suspension wird solange der Sedimentation überlassen, bis Teilchen von  $2\mu$  von der Oberfläche aus gerade den Boden des Gefäßes erreicht haben, dann abgehobt. Die Ermittlung des Prozentanteils der sich jetzt noch in Schweb

befindlichen Teilchen erfolgt ebenfalls nach dem STOKESSENEN Gesetz. Es verhält sich nämlich

$$\frac{D_0^2}{D_1^2} = \frac{h_{\max}}{h} \quad (7)$$

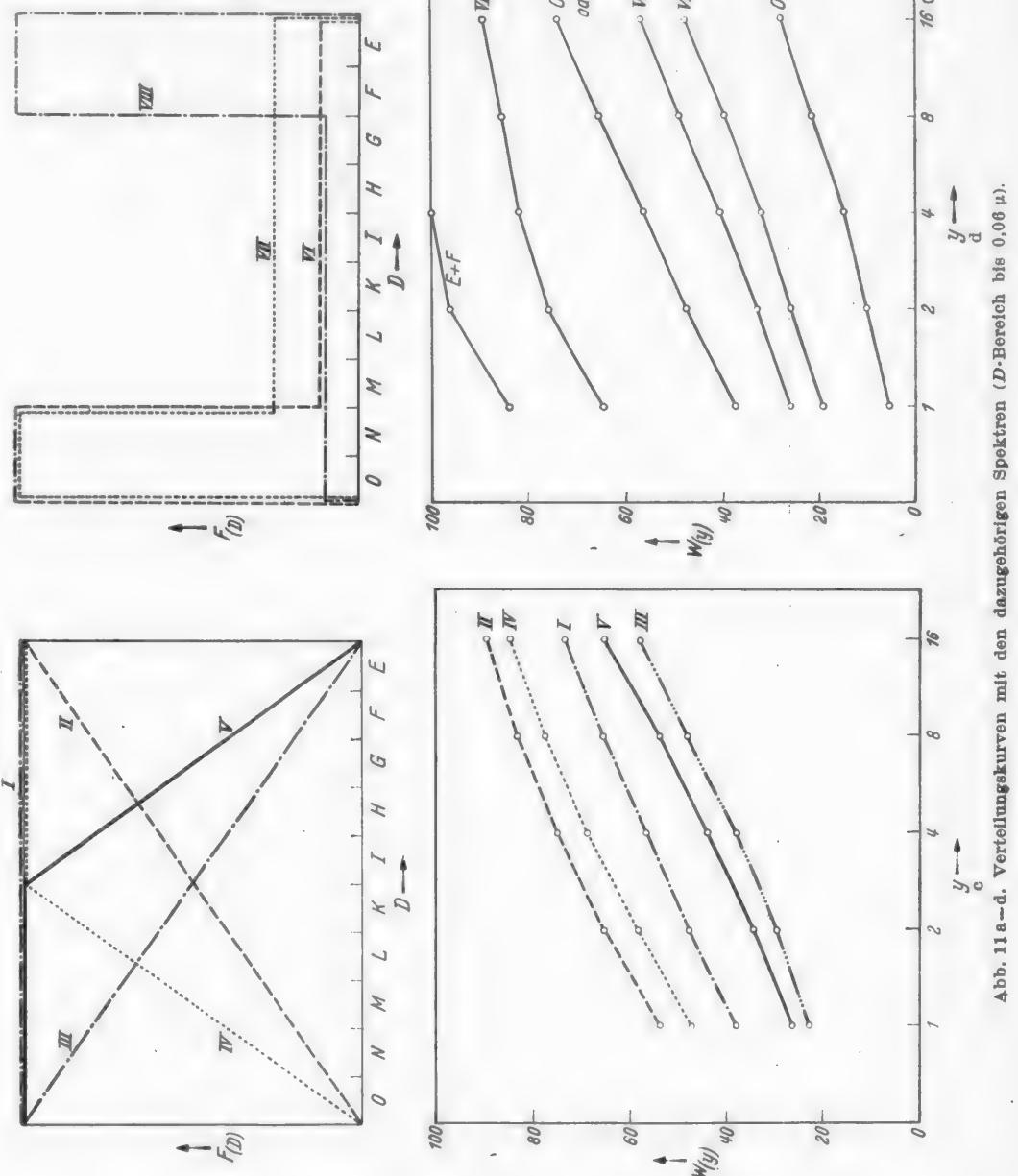


Abb. 11 a-d. Verteilungskurven mit den dazugehörigen Spektren ( $D$ -Bereich bis  $0,06 \mu$ ).

wobei  $D_0 = 2 \mu$  ist,  $D_1$  der Durchmesser von kleineren Teilchen,  $h_{\max}$  die Gesamthöhe der Suspensionssäule,  $h$  die von den Teilchen  $D_1$  durchfallene Höhe bedeutet. Weil für ein zylindrisches Gefäß die Höhe dem Volumen proportional ist, muß

*Tabelle 1.*  
Anteil der abgeschiedenen Teilchenmenge vom Gesamtgewicht der Korngrößenklasse in % ('Trennzahlen')

0—y		XII XII X IX VIII VII VI V IV III																		
Z	X	W	V	U	T	S	R	Q	P	O	N	M	L	K	I	H	G	F	E	
0—16	0,8	1	1,5	2	3	4,5	6,5	9	12,5	17,5	24,5	34	46,5	60	75	92,5	100	100	100	
0—8	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4,5	6,5	9	12,5	17,5	24,5	34	46,5	60	75	92,5	100	100	100
0—4	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4,5	6,5	9	12,5	17,5	24,5	34	46,5	60	75	92,5	100	100
0—2	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4,5	6,5	9	12,5	17,5	24,5	34	46,5	60	75	92,5	100
0—1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4,5	6,5	9	12,5	17,5	24,5	34	46,5	60	75	92,5

weiterdem Grundwert als obere Grenze.  
Zahlenreihen von D-Werten mit kleinen

0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
0,002	0,003	0,004	0,0055	0,008	0,011	0,016	0,02	0,03	0,045	0,06	0,09	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

der noch suspendierte Anteil der Korngröße  $D_1 = \frac{h_{\max} - h}{h_{\max}}$  sein. In dem Diagramm von Abb. 12 sind entsprechend der nach Gl. (7) gezeichneten Parabel die für die Größenklassen E, F, G ... gehörigen Faktoren angegeben, die nach einmaligem Abschlämmen in Rechnung zu setzen sind. So wird für den Abstand  $y = 1$  cm und für die Größenklasse E nicht  $e \cdot 92,5\%$  sondern  $0,09 \cdot e \cdot 92,5\%$  bei Berechnung des Spektrums einzusetzen sein. Man erhält dann eine um diese Faktoren zusammengeschrumpfte Verteilungskurve, die aber leicht umzurechnen bzw. umzuzeichnen ist.

Diese etwas umständliche Rechenarbeit kann man sich nämlich ersparen, wenn man die geschrumpfte Verteilungskurve und auch die  $W_y$ ,  $y$ -Diagramme graphisch ermittelt. Die angenommene Verteilungskurve wird hierfür auf durchsichtiges Millimeterpapier gezeichnet und zwar in so großem Maßstab, daß die Auswertegenaugigkeit ausreicht. Nach dem Vorhergehenden muß jetzt für die einzelnen Bereiche E, F, ... Z graphisch an Hand von Tabelle 1 ermittelt werden, wieviel Prozent sich bis zu den Abständen  $y = 1, 2, 4, 8, 16$  abscheiden würden. Weil für die Auswertung von Gl. (4) diese Größenbereiche als isodispers angenommen werden, müßte man die Fläche unter der Verteilungskurve durch flächen gleiche Rechtecke ersetzen. Setzt man die Höhe des Rechtecks gleich 100, so kann man die Trennzahlen auf dieser auftragen und hat in den entstehenden Rechtecken die Gewichtsprozente der sich bei den vorgegebenen  $y$ -Werten abscheidenden Substanz. Der Einfachheit halber soll die Länge der Mittellinie über einem Bereich bis zur Verteilungskurve gleich der Höhe des Rechteckes, also gleich 100 genommen werden. Das heißt man zeichnet nicht erst die Treppenkurve, sondern nimmt die kleine Ungenauigkeit in Kauf und unterteilt die Strecke vom Fußpunkt bis zum Schnittpunkt A der Mittellinie mit der Verteilungskurve. Diese Unterteilung wird ebenfalls graphisch vorgenommen mit der in Abb. 13a gezeichneten Schablone. Das Millimeterpapier mit der Verteilungskurve wird so an das bewegliche Lineal geklebt, daß Grundlinie der Verteilungskurve und der Schablone sich decken, dann parallel an dem feststehenden Lineal verschoben, daß der Schnittpunkt A auf die 100%-Linie zu liegen kommt und die Mittellinie mittels des aus den Trennzahlen gebildeten Strahlenbündels abgeteilt wird. Verbindet man die entsprechenden Punkte miteinander, so kommt man zu den ausgezogenen Kurven unter den Verteilungskurven IX bis XI in Abb. 14a—c. Die gesuchten  $W_y$ -Werte erhält man, wenn man den Flächeninhalt unter der betreffenden  $y$ -Kurve zum Gesamtflächeninhalt unter der Verteilungskurve ins Verhältnis

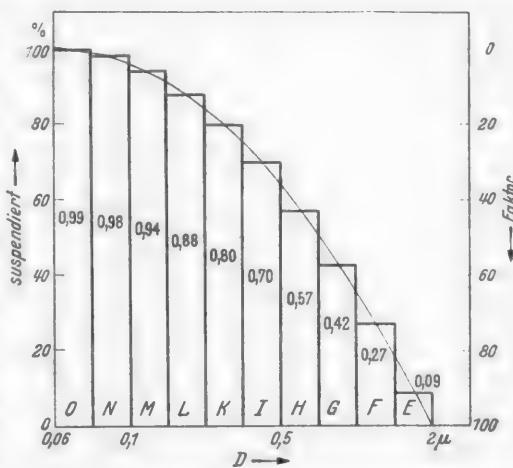


Abb. 12. Graphische Ermittlung des Schrumpfungsfaktors für die einzelnen Kornklassen nach einmaligem Abschlämmen.

setzt. Das Ausmessen der Flächeninhalte geschieht am schnellsten mit einem Polarplanimeter.

Ähnlich verfährt man bei Ermittlung der bei einmaligem Abschlämmen geschrumpften Verteilungskurve. In Abb. 13b sind nach Abb. 12 die Faktoren für die einzelnen Bereiche durch ein entsprechendes Strahlenbündel dargestellt. Man stellt wieder auf den Schnittpunkt A ein z. B. für den Bereich K und bestimmt den Schnittpunkt der Mittellinie mit dem entsprechenden Strahl K. In dieser Weise sind in Abb. 14a—c auch diese reduzierten Verteilungskurven (gestrichelt) gezeichnet und wie oben graphisch ausgewertet.

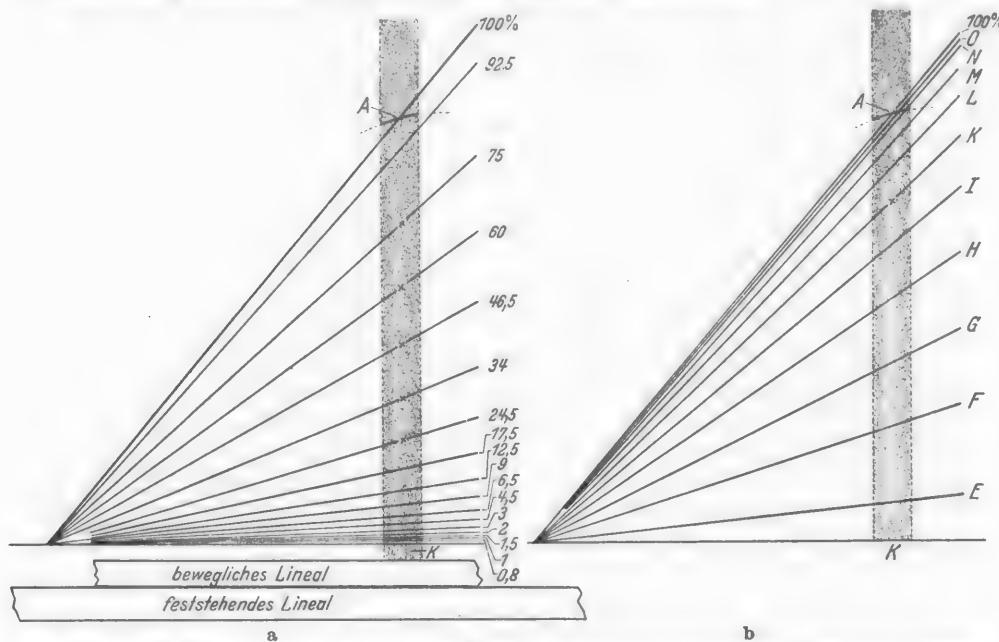


Abb. 13a u. b. a Schablone zum graphischen Bestimmen der Trennwirkung für die Größenklassen E bis Z. b Schablone zum graphischen Bestimmen des Schrumpfungsfaktors.

In Abb. 14d sind die zugehörigen  $W_y$ ,  $y$ -Diagramme konstruiert und zwar für Verteilungskurven die teilweise bis zu einem Durchmesser von  $2 \text{ m}\mu$  reichen.

Die Trennwirkung der Zentrifuge für die einzelnen Bereiche wird durch die graphische Auswertung recht anschaulich. Wie genau im einzelnen aus den 5 Meßwerten des  $W_y$ ,  $y$ -Diagrammes die Verteilungskurve bestimmt werden kann, wird sich erst nach längerer Erfahrung zeigen.

Aus Tabelle 1 ist zu ersehen, daß die Differenzen zwischen den Trennzahlen nach kleineren Durchmesserwerten zu immer geringer werden. Kleine Änderungen in der Verteilungsfunktion werden sich auf das Spektrum nur noch geringfügig auswirken können und wenn sie innerhalb der experimentellen Fehlergrenze liegen, nicht mehr zu erfassen sein. Man wird dann nur noch den ungefähren Verlauf der Verteilungskurve in diesem Gebiet erkennen können.

Die bisherigen Überlegungen galten für den Fall, daß nur ein Spektrum ausgewertet wurde und zwar bei Bedingungen, die erlauben, die Grenze mög-

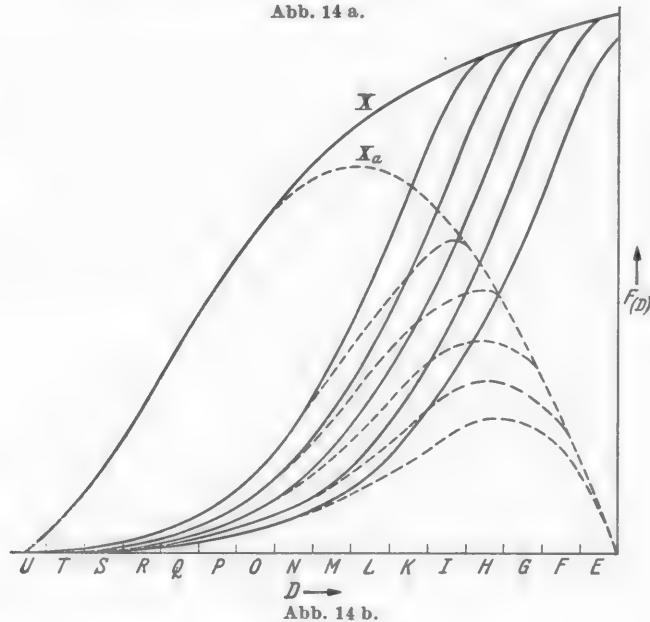
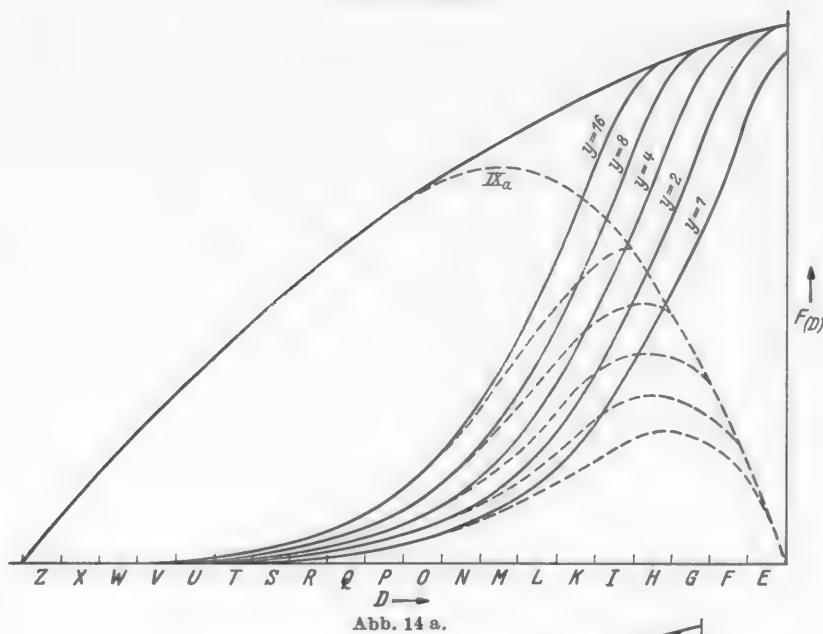
lichst weit in das Gebiet größerer Teilchen zu legen. Nun kann man unter Umständen durch mehrere Zentrifugierungen bei verschiedenen Bedingungen sowohl den groben als auch den feinen Anteil genauer bestimmen.

Die erste Methode ist die, so ähnlich zu verfahren wie nach der Methode des einmaligen Abschlämmens auseinandergesetzt wurde. Die Suspension wird einmal abgeschlämmt (Korngrenze bei  $2\mu$ ), dann einmal für den Grundwert  $2\mu$  auszentrifugiert, d. h. so, daß Körner  $> 0,5\mu$  nicht hindurchgespült werden. Das Zentrifugat wird nun für den Grundwert  $0,5\mu$  auszentrifugiert. Bei der Auswertung des so erhaltenen Spektrums ist zu bedenken, daß beim ersten Auszentrifugieren, d. h. beim Abtrennen der Größenklasse  $2\mu - 0,5\mu$  von den Korngrößen  $< 0,5\mu$  bereits ein Teil zum Absitzen auf der Zylinderwand kam. So wie beim einmaligen Schlämmen ist der zurückbehaltene Anteil zu erfassen und zwar unter Verwendung von Tabelle 1. Von der Größenklasse I, in unserm Falle  $0,5\mu - 0,35\mu$ , wird sich demnach bis 1 cm Abstand folgende Menge abscheiden:

$$0,09 \cdot \frac{100 - 92,5}{100} \cdot e \cdot 92,5\%.$$

Der Faktor  $\frac{100 - 92,5}{100}$  besagt, daß beim ersten Zentrifugieren 92,5% von dieser Klasse zurückbehalten werden, wobei die Zylinderlänge  $y = 16$  cm zugrunde gelegt worden ist. Ganz entsprechend verfährt man mit den anderen Klassen und berechnet sich wie oben angegeben die  $W_y$ -Werte für das Spektrum. Somit hat man eine erste Kontrollkurve für die Kornverteilung erhalten, die von  $0,5\mu$  abwärts mit der Verteilungskurve nach dem Grundwert  $2\mu$  übereinstimmen müßte. Zweckmäßigerweise geht man von der eigentlichen Verteilungskurve aus und berechnet die entsprechenden Kurven wie sie nach einmaligem Abschlämmen und nach weiterem Zentrifugieren aussehen werden und hieraus dann die  $W_y$ ,  $y$ -Diagramme für den Vergleich mit der experimentell erhaltenen Kurve.

Ein weiteres Verfahren soll noch erwähnt werden. Das Material wird wie oben angegeben abgeschlämmt und aus dem Spektrum mit dem Grundwert  $2\mu$  der Verlauf der Verteilungskurve besonders nach der Seite der größeren Teilchen so genau wie möglich bestimmt. In einem Parallelversuch wird nun ein Spektrum mit dem Grundwert  $0,5\mu$  oder irgendeinem anderen aufgenommen. Für den Grundwert  $0,5\mu$  muß die obere Tabellenhälfte mit den Trennzahlen über der Buchstabenreihe E, F, G ... soweit nach links verschoben werden, daß die Zahl 92,5 über I zu stehen kommt. Die Klassen E bis H werden nicht mehr erfaßt, weil sie sich unterhalb von  $y = 1$  cm abscheiden und aus experimentellen Gründen hier keine weitere Unterteilung mehr vorgenommen werden kann. Statt vorher beim Grundwert  $2\mu$  92,5% für E bzw. 46,5% für H im Abstand 0 bis 1 cm, oder 92,5% für G bzw. 75% für H im Abstand 0 bis 4 cm müssen jetzt überall 100% eingesetzt werden. Es muß jetzt noch ausgerechnet werden, wie groß die Summe dieser Differenzbeträge für das aufgenommene Spektrum ist. Die Verteilungskurve auf Seite der größeren Teilchen sei aus dem ersten Versuch mit dem Grundwert  $2\mu$  hinreichend bekannt. Nach dieser sei der Anteil für E  $e\%$ , für F  $f\%$ , für G  $g\%$  usw. an der Gesamtsuspensionsmenge.



Die Summe dieser Differenzbeträge ist für

$$\begin{aligned}
 y \text{ von } 0 \text{ bis } 1 \text{ cm} & e \cdot \frac{100 - 92,5}{100} + f \cdot \frac{100 - 75}{100} + g \cdot \frac{100 - 60}{100} + h \cdot \frac{100 - 46,5}{100} \\
 y \text{ von } 0 \text{ bis } 2 \text{ cm} & f \cdot \frac{100 - 92,5}{100} + g \cdot \frac{100 - 75}{100} + h \cdot \frac{100 - 60}{100} \\
 y \text{ von } 0 \text{ bis } 4 \text{ cm} & g \cdot \frac{100 - 92,5}{100} + h \cdot \frac{100 - 75}{100} \\
 y \text{ von } 0 \text{ bis } 8 \text{ cm} & h \cdot \frac{100 - 92,5}{100}.
 \end{aligned}$$

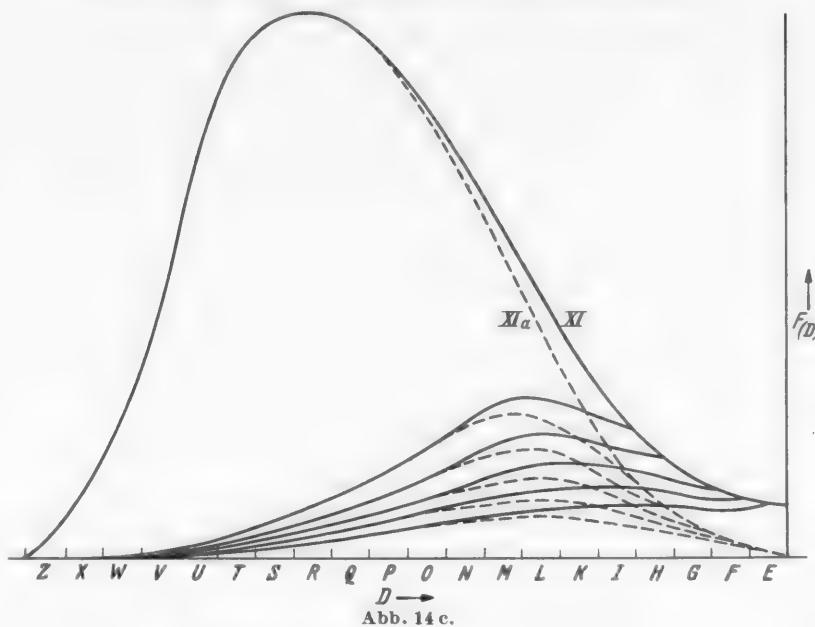


Abb. 14 c.

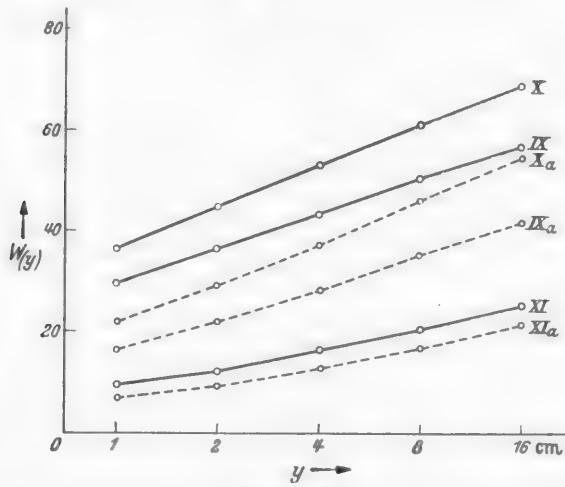


Abb. 14 d.

Abb. 14 a – d. Verteilungskurven mit dazugehörigen Spektren ( $D$ -Bereich bis  $2 \text{ m } \mu$ ).

Alle diese Einzelwerte addiert ergeben den Betrag  $\Delta W$ , um den der  $W$ -Wert für  $y = 1 \text{ cm}$  und damit auch für die übrigen  $y$ -Werte zu hoch liegen würde. Weil nämlich für die Darstellung des Spektrums im  $W_y$ ,  $y$ -Diagramm die Summenliniendarstellung gewählt wurde, muß auch der Wert  $W_2$ ,  $W_4$ ,  $W_8$ ,  $W_{16}$  um diesen Betrag  $\Delta W$  vermindert, die Kurve also parallel zu sich selbst verschoben werden. Die entsprechende Verteilungskurve müßte also der beim Grundwert  $2 \mu$  erhaltenen für den Bereich I bis U entsprechen, oder in Zahlen ausgedrückt von  $0,5 \mu$  bis  $0,002 \mu$ . In der unteren Hälfte von Tabelle 1 sind die hierfür in Frage kommenden Reihen für die Durchmesserwerte angegeben.

Durch diese beiden Methoden bringt man also die Klassen kleinerer Korngröße vom linken Rande der Tabelle mit den kleinen Differenzen in den Trennzahlen (z. B. zwischen 4,5 und 3) weiter nach rechts in den eigentlichen Auflösungsbereich der Zentrifuge (z. B. zwischen 17,5 und 12,5). Je nach dem Verhältnis des größeren Anteils zum feineren in der Kornverteilung des betreffenden Sediments wird man die eine oder andere Art der Kontrollbestimmung vorziehen.

Schon der einleitend erwähnte Trogversuch zeigt, wie auf zweckmäßige Art eine Abtrennung von Kornklassen möglich ist. Entspräche der Troglänge die Zylinderlänge  $y = 16$  cm, so ist nach Tabelle I die erste Fraktionsgrenze zwischen H und I zu legen, denn die Klasse H wird noch zu 100% abgeschieden. Allgemein ausgedrückt werden Teilchen von  $D_\mu/4$  noch im Zylinder zurück behalten, wenn sich solche von  $D_\mu$  bis zum Abstand  $y = 1$  cm absetzen. Durch wiederholtes Aufbereiten und Auszentrifugieren des abgeschiedenen Spektrums werden die Teilchen  $D_\mu/4$  bald ganz herausgekämmt sein. Ist dies in genügendem Maße erreicht, wird aus den angefallenen Zentrifugaten die nächste Fraktion gewonnen, indem N und Q [Gl. (6f)] so gewählt werden, daß sich jetzt Teilchen vom Durchmesser  $D_\mu/4$  bis zum Abstand  $y = 1$  cm abscheiden. Die so gewonnene Fraktion umfaßt den Größenbereich von  $D_\mu/4$  bis  $D_\mu/16$ . Je nach der Leistung der Zentrifuge kann man dieses Verfahren nach kleiner werdenden Korndurchmessern weiter fortsetzen, und erhält bei Festlegung von  $2\mu$  als obere Grenze z. B. folgende Meßbereiche:

$$2\mu - 0,5\mu; \quad 0,5\mu - 0,1_{25}\mu; \quad 0,1_{25}\mu - 0,03_0\mu; \quad \text{usw.}$$

Der obere und untere Grenzwert für den Gesamtmeßbereich von D ist durch die Leistung der Zentrifuge festgelegt. Sie liegt in unserem Falle zwischen  $2\mu$  und  $0,03\mu$ . Zwischen diesen Werten kann man natürlich auch andere Fraktionsgrenzen wählen, doch ist die obige Anordnung bei gleichmäßiger logarithmischer Aufteilung des Meßbereiches in 3 Fraktionen die einzige mögliche.

Aus dem Gewichtsanteil der so erhaltenen Fraktionen kann durch graphische Mittlung über die Rechtecke ebenfalls eine Verteilungskurve gezeichnet werden, die wegen der Zusammenfassung von mehreren Klassen zu einem breiteren Fraktionsband natürlich nicht mehr so genau sein kann (s. Abb. 21a). Hinzu kommen experimentelle Schwierigkeiten bei einer sauberen Abtrennung der obigen Fraktionen, die im experimentellen Teil behandelt werden. Trotzdem wird diese sog. „Trennmethode“ immer dann anzuwenden sein, wenn bei darauf folgenden Untersuchungen mit sauber begrenztem Korngrößenbereich gearbeitet werden muß.

Auf eine dritte Methode zur Kontrolle der Kornverteilung sei noch kurz hingewiesen, weil sie im Folgenden zur Anwendung gelangt. Sie beruht darauf, daß beim Abtrennen der ersten Fraktion in den nacheinander anfallenden Zentrifugaten die Gewichtsmengen des dispergierten Materials bestimmt werden. Ist die Verteilungskurve aus den Ergebnissen des Spektrenverfahrens bekannt, so ist nach Tabelle I zu berechnen, wieviel Milligramm von den Klassen links von H im Zylinder abgeschieden werden. Diese Menge ist:

$$i \cdot 0,925 + k \cdot 0,75 + l \cdot 0,60 + m \cdot 0,465 \dots$$

Die Gesamtmenge dieser Klassen im Sediment beträgt

$$i + k + l + m \dots$$

Durch Subtraktion des obigen Anteils von diesem — im ersten Falle von der Gesamtmenge, — erhält man den Anteil an dispergiertem Material, der

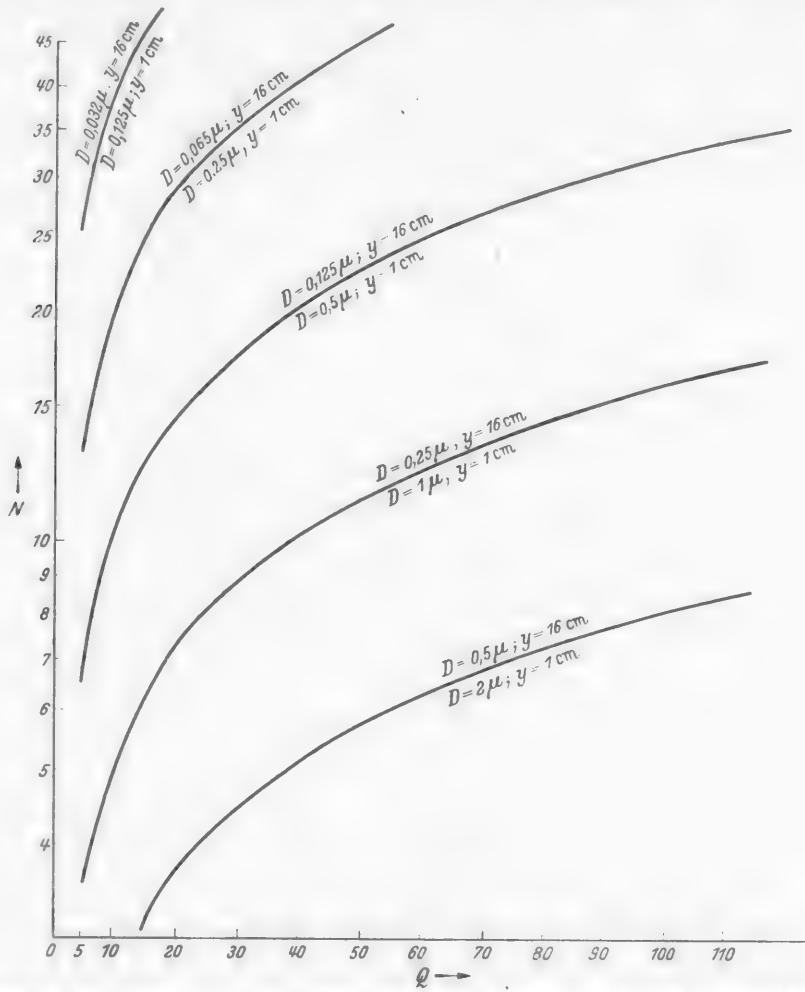


Abb. 15. Wirkungsgrad der Padbergschen Zentrifuge für  $y = 1$  cm und  $y = 16$  cm;  $\eta = 1$ ;  $A\varrho = 1, 1$ .

hindurchfließen müßte. Entsprechende Berechnungen sind für die folgenden Zentrifuge anzustellen.

Bevor der experimentelle Teil behandelt wird, soll noch auf die Leistung dieser Zentrifuge eingegangen werden. Die niedrigste praktisch benutzte Tourenzahl war 4250 Umdrehungen/Min., die höchste, noch erlaubte beträgt 45000 Umdrehungen/Min. Das Diagramm von Abb. 15 gibt einen Überblick über die Abhängigkeit von Tourenzahl, Zuflußmenge und dem Durchmesser als Parameter. Es wurde ein  $y$ -Wert von 1 cm und ein solcher von 16 cm

angenommen, weil hierdurch die oberste und unterste, praktisch mögliche Begrenzung im Zylinder festgelegt ist. Die Zähigkeit  $\eta$  des Suspensionsmittels wurde mit 1, der Dichteunterschied zwischen diesem und der dispergierten Phase mit 1,1 angenommen. Außerdem wird vorausgesetzt, daß die Teilchen im kleinstmöglichen Abstand  $x = 0,7$  cm von der Rotationsachse starten. Als maximale Zuflußmenge  $Q$  wurde  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  eingesetzt. Ein Teilchen vom mittleren Durchmesser  $D = 0,1 \mu$  wird sich bei einer Zuflußgeschwindigkeit von  $50 \text{ cm}^3/\text{min}$  und einer Tourenzahl von 23500 Umdrehungen/Min. im Abstand

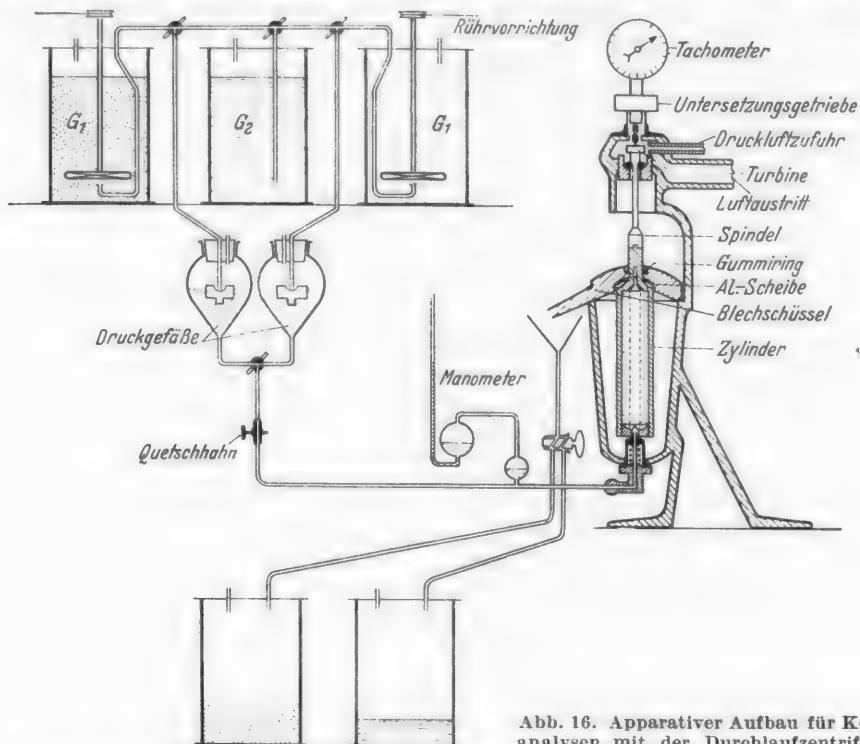


Abb. 16. Apparative Aufbau für Kornanalysen mit der Durchlaufzentrifuge.

$y = 16 \text{ cm}$ , ein solches von  $0,5 \mu$  bei denselben Versuchsbedingungen im Abstand  $y = 1 \text{ cm}$  absetzen. Bei 45000 Umdrehungen und einer Zulaufgeschwindigkeit von  $14 \text{ cm}^3/\text{min}$  werden Teilchen von  $0,03 \mu$  bei  $y = 16 \text{ cm}$  abgeschieden. Unterhalb dieses Durchmesserwertes könnten dann nur noch Bestimmungen der Kornverteilung nach der Spektrenmethode gemacht werden, aber keine Abtrennung einer weiteren Kornklasse.

Der apparative Aufbau für die Zentrifuge ist bereits früher<sup>1</sup> beschrieben worden. Wie die schematische Übersicht Abb. 16 zeigt, wurde er inzwischen nur wenig verändert. Die einzelnen Bestandteile der Apparatur sind: die Standgefäße, die für quantitative Korngrößenabtrennungen auch zum Abschlämmen benutzt werden können, die Druckgefäße, das Manometer, die Auffanggefäße und die Rohrleitungen mit den entsprechenden Hähnen für den

<sup>1</sup> JASMUND, KARL: Über den Mineralbestand einiger Kaoline unter besonderer Berücksichtigung der kolloiden Größenordnungen. Chem. d. Erde Bd. 12 (1940) S. 508.

kontinuierlichen Zu- und Ablauf der Flüssigkeit. Der Flüssigkeitsstand in den Druckgefäßern wird durch Korkschwimmer reguliert, die bei einer bestimmten Steighöhe die Flüssigkeitszufuhr aus den Gefäßen *G 1* und *G 2* abdrosseln. Das Ventil besteht aus einem ausgezogenen Glaßstab, dessen Konus in das Zuführungsrohr eingeschliffen ist. Um eine einwandfreie Dichtung zu gewährleisten, ist ein etwa 1 mm dickes Glasstäbchen angeschmolzen, das mit seinen 3 Flügeln in dem Zuführungsrohr steckt. Hierdurch wird ein Verkanten des Konus im Schliff verhindert. Dies hat sich als zweckmäßig erwiesen, weil hierdurch automatisch die Flüssigkeitshöhe konstant gehalten wird. Um die Bildung von Algen zu verhindern, wird der Kork mit Kupferbronze angestrichen. Die geringen Kupfermengen, die während der Versuchsdauer in Lösung gehen, waren für die Untersuchung ohne Bedeutung, doch ist es notwendig, die Flüssigkeit sofort nach Beendigung des Versuchs aus den Druckgefäßern abzulassen.

Die Zulaufgeschwindigkeit der Flüssigkeit in dem Zylinder wird an dem Manometer abgelesen, das auf den Überdruck im Zuflußrohr zur Zentrifuge reagiert. Das Manometer ist für die verschiedenen Düsen geeicht, die die Flüssigkeit auf das Verteilerkreuz des Zylinders spritzen. Zur Einstellung der gewünschten Zulaufgeschwindigkeit muß zunächst die passende Düse gewählt und dann an einem Quetschhahn das Nachfließen der Flüssigkeit solange gedrosselt werden, bis das Manometer die richtige Zulaufgeschwindigkeit anzeigt.

Da von der Firma nur Düsen mit weiter Öffnung mitgeliefert wurden (1—2 mm Ø), mußten noch einige neu angefertigt werden und zwar mit den Durchmessern 0,7, 0,5, 0,4, 0,3 mm. Damit die Austrittsöffnung nicht durch einen Flüssigkeitstropfen bedeckt wird, sind die Düsen oben kegelförmig abgedreht (Abb. 16).

Schon geringe Gratbildung an der Austrittsöffnung der feinen Düsen bewirkt, daß der Flüssigkeitsstrahl stark seitlich abgelenkt wird und eventuell das Verteilerkreuz nicht erreicht. Die Düsen wurden bei verschiedenen Überdrücken geeicht, die Ergebnisse in einem Diagramm festgehalten. (Abszisse, Zuflußgeschwindigkeit, Ordinate: Höhe der Wassersäule des Manometers.)

Sobald der Strahl das Verteilerkreuz des rotierenden Zylinders erreicht, wird die Flüssigkeit radial nach außen geschleudert, durcheinandergewirbelt und auf den Querschnitt einigermaßen gleichmäßig verteilt. Gleichzeitig wird diese Schicht durch die nachströmende Flüssigkeit langsam durch den Zylinder geschoben, wobei zunächst die Geschwindigkeitsverteilung unabhängig vom Abstande *x* sein soll (s. S. 344), sich dann aber die von HAUSER und REED angenommene Geschwindigkeitsverteilung innerhalb eines solchen kreisförmigen Querschnitts einstellen müßte.

Hierüber wurden nun eingehende Untersuchungen angestellt, weil das Strömungsbild maßgebend für die Absetzbewegung und den Absetzort der Teilchen ist. Es wurden 2 Eichlösungen mit praktisch gleich großer Dichte hergestellt und zwar wurden Natriumoxalat und Kochsalzlösung vom spezifischen Gewicht  $1,01305 \pm 0,00002$  hierzu gewählt. Als erste Flüssigkeit wurde die Natriumchloridlösung eingeführt bis der Zylinder gefüllt war, dann erst die Oxalatlösung eingespritzt.

Die Tourenzahl betrug bei den Versuchen 7000—8000 Umdrehungen/Min., die Zulaufgeschwindigkeit  $9 \text{ cm}^3/\text{min}$ . Die Temperatur beider Lösungen muß

natürlich gleich sein. Nach bestimmter Zeit, immer nach Ablauf einer Minute wurden  $5 \text{ cm}^3$  der aus dem Zylinder oben ausgetretenen Flüssigkeit aufgefangen, der Gehalt an Oxalsäure mit Kaliumpermanganatlösung titriert und als Funktion der Zeit in einem Diagramm eingetragen. Es ergab sich, daß sich *nicht* die Strömungsverhältnisse einstellten die nach der Rechnung von HAUSER und REED erwartet werden mußten. Die Natriumoxalatlösung wurde vielmehr früher nachgewiesen als es theoretisch der Fall sein durfte. Um die Fehlerquelle einer geringen Differenz in den spezifischen Gewichten auszuschalten, wurde auch die umgekehrte Reihenfolge beider Lösungen durchprobiert. Es zeigten sich nur unwesentliche Änderungen des Diagramms. Aus den so gewonnenen

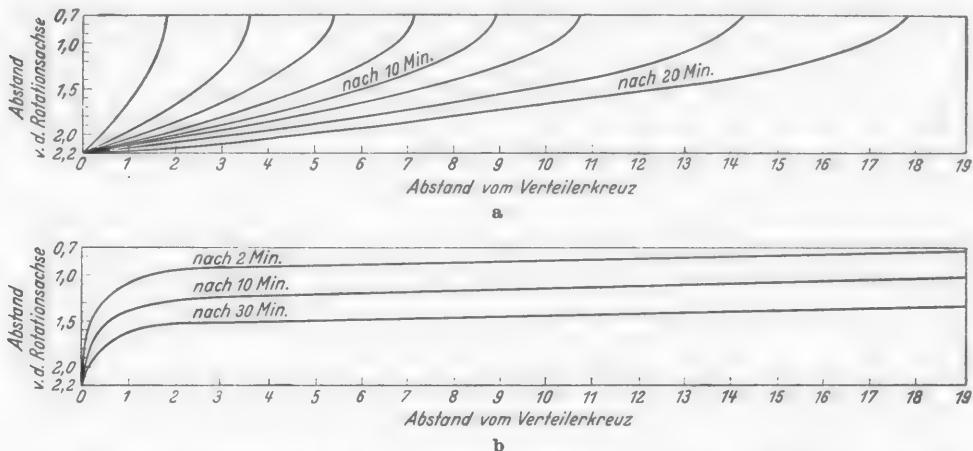


Abb. 17a u. b. Strömungsbilder der durchfließenden Eichflüssigkeit. a nach Gl. 5 berechnet; b nach den gemessenen Werten (schematisch).

Unregelmäßigkeiten im Diagramm war zu ersehen, daß die nachströmende Flüssigkeit sich nicht gleichmäßig über den ganzen Querschnitt am Verteilerkreuz verteilt, sondern nur ganz wenig in die Flüssigkeitssäule eindringt und sich dann rasch als dünne Schicht auf dieser Säule den Ablauföffnungen am oberen Teil des Zylinders zuschiebt. Das Strömungsbild sieht also so aus, daß sich im inneren Teil der Säule die Flüssigkeit viel schneller als nach HAUSER und REED berechnet bewegt, die Geschwindigkeit nach außen hin entsprechend stärker abnimmt. Schon nach 2—3 Min. hat die oben abfließende Lösung etwa 30 % der nachfließenden Oxalatlösung erreicht, nach weiteren 10—12 Min. 60 % und nach 30 Min. 80—85 %. Nach der Rechnung [Gl. (5)] darf die Oxalatlösung überhaupt erst nach 22 Min. erscheinen. Wurde nach 30 Min. der Zulauf an Oxalatlösung gesperrt und die Zentrifuge still gesetzt, so enthielt die in sich zusammenfallende, abfließende Flüssigkeitssäule immerhin noch 50 % an Kochsalzlösung. In Abb. 17 sind in einem  $x, y$ -Diagramm mit  $t$  als Parameter beide Strömungsbilder dargestellt, a: nach Gl. (5) berechnet, b: aus den gemessenen Werten schätzungsweise zu entnehmen. Bei hohen Tourenzahlen ist die Durchmischung am Verteilerkreuz eine bessere, bei größerer Zulaufgeschwindigkeit erhält man aber auch hier wieder das verzerrte Strömungsbild nach Abb. 17b. In einer früheren Untersuchung der Strömungs-

verhältnisse ist bereits hierauf hingewiesen worden<sup>1</sup>. NORTON und SPEIL haben bei ziemlich großen Zulaufgeschwindigkeiten (etwa 100 cm<sup>3</sup>/min.) auch einen größeren Anteil von Körnern mit größerem Durchmesser als zulässig gefunden. Es kann vermutet werden, daß eine Erklärung hierfür in der eben beschriebenen Erscheinung liegt. Durch die große Geschwindigkeit in der innersten Schicht der Wassersäule werden nämlich auch sehr viel gröbere Teilchen mit hindurchgespült, die sich nach dem Strömungsbild von Abb. 17a hätten unbedingt absetzen müssen.

Um Abhilfe zu schaffen wurde zunächst eine kleine Änderung am Verteilerkreuz vorgenommen und der Einschnitt in demselben über der Düse tiefer gemacht. Dadurch findet eine bessere Durchmischung statt, besonders wenn man bedenkt, daß bei niedrigerer Tourenzahl nicht ein zylindrischer, sondern ein merklich parabolisch ausgebildeter Rotationskörper vorliegt. Der Erfolg war immer noch nicht zufriedenstellend, aber weitere Änderungen am Verteilerkreuz brachten keine wesentlichen Verbesserungen. So wurden an dem Überlauf am oberen Teil des Zylinders Änderungen vorgenommen und dort eine ringförmige Austrittsöffnung durch Einbau eines Leichtmetallstempels geschaffen. Seine Form ist aus der Abb. 18 ersichtlich. Der obere Durchmesser ist so bemessen, daß man ihn in den obersten Teil des Zylinders hineinpressen kann. Als Durchlaß für die abfließende Suspension dienen vier eingefräste Rinnen, wie sie auch in der Zeichnung angedeutet sind. Es zeigte sich schon bei den ersten Versuchen, daß das Strömungsbild hierdurch in der gewünschten Art beeinflußt wurde.

Nach Durchführung dieser Änderungen wurden die in Tabelle 2 angeführten Meßergebnisse erhalten. Die Tourenzahl bei diesen Versuchen betrug 20000 Umdrehungen/Min. Dieselben Versuche wurden bei einer Tourenzahl von 8000 Umdrehungen/Min. wiederholt und brachten nichts Neues. Erst wenn die Zulaufgeschwindigkeit auf 200—300 cm<sup>3</sup>/min erhöht wurde, traten merkliche Abweichungen ein und die gemessenen Durchlaufzeiten wurden zu klein. Diese Messungen wurden nicht mit den oben angeführten Salzlösungen sondern mit einer Wassersäule, in die eine wässrige Farbstofflösung gespritzt wurde, durchgeführt. Das durch sehr geringe Mengen von Methylenblau gefärbte Wasser hat praktisch dasselbe spezifische Gewicht wie das nicht gefärbte. Nun wurde die Zeit gemessen, die verfloß, bis die ersten Anzeichen der Blaufärbung der durchgelaufenen Flüssigkeit bemerkbar wurden und diese Werte in die Tabelle eingetragen.

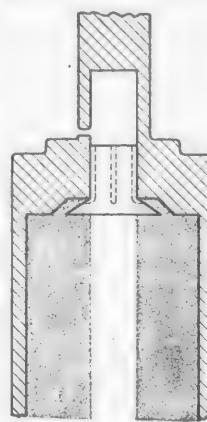


Abb. 18.  
Einbau einer ringförmigen Düse als Abflußöffnung bei quantitativen Messungen.

Tabelle 2.

Zuflußgeschwindigkeit cm <sup>3</sup> /min	Berechnete Zeit des Durchlaufs sec	Gemessene Zeit des Durchlaufs sec
130	69	65
82	109	110
56	160	160—165

<sup>1</sup> JASMUND, KARL: Über den Mineralbestand einiger Kaoline unter besonderer Berücksichtigung der kolloiden Größenordnungen. Chem. d. Erde Bd. 12 (1940) S. 508.

Nach HAUSER und REED kann diese Zeit in folgender Weise berechnet werden. Die mittlere Durchflußgeschwindigkeit  $V_m$  der Wassersäule ist

$$V_m = \frac{Q}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}$$

die Geschwindigkeit im Abstand  $x = 0,7$  cm nach Gl. (5)

$$V_{0,7} = 1,78 \cdot V_m.$$

Aus der Länge des Zylinders (etwa 19,5 cm) erhält man die Zeit, welche die innerste Schicht der Wassersäule zum Durchqueren des Zylinders braucht, zu

$$t = \frac{19,5}{1,78 \cdot V_m} \text{ sec.}$$

Die Übereinstimmung der gemessenen Daten mit den nach den Annahmen von HAUSER und REED berechneten Werten ist vollkommen ausreichend. Hieraus geht hervor, daß die Strömungsverhältnisse durch die vorgenommenen Änderungen im Zylinder, auf seine Gesamtlänge bezogen, den berechneten entsprechen. Wie weit man diese Ergebnisse auch auf kleinere  $y$ -Werte im Zylinder übertragen kann, werden Versuche mit einer Quarzsuspension zeigen.

Natürlich wurde auch der umgekehrte Weg erwogen, die Strömungsverhältnisse in dem nicht umgebauten Zylinder zu berechnen, doch sind die auftretenden Schwierigkeiten nach Ansicht der Strömungsforscher im hiesigen Max-Planck-Institut derartig groß, daß eine Berechnung in diesem Falle nicht lohnen würde.

Ungünstig für die Versuche wirkte sich aus, daß die Zentrifuge bei niederen Tourenzahlen zeitweise nur mit Mühe bei gleichbleibender Geschwindigkeit gehalten werden konnte. Dies ist aber Voraussetzung für quantitative Messungen. Verschiedene Ursachen sind hierfür anzugeben. Der Zylinder wird unten durch den Zapfen und den Fußlagerring geführt. Die Reibung zwischen beiden muß also konstant gehalten werden. Deshalb wurde eine dauernde Schmierung durch einen ölgetränkten Filzring in folgender Weise geschaffen. In den Preßstoftring wurde eine Nut eingedreht, in sie hinein ein Filzstreifen gelegt, der an 3 Stellen den Führungszapfen berührt und außen durch einen Federring zusammengehalten wird. Die Ergebnisse waren zufriedenstellend, wenn auch die Beseitigung der Schwankungen in der Tourenzahl nicht mit 100%iger Sicherheit erreicht werden konnte. Durch die zusätzliche Bremswirkung eines um die Aufhängespindel gelegten Filzringes konnte zwar ein leichteres Konstanthalten der Tourenzahl erreicht werden, doch muß man eine größere Erschütterungsamplitude in Kauf nehmen.

Um die Geschwindigkeit laufend messen zu können, wurde ein Tachometer eingebaut, das mit der Luftpumpe über eine Zahnraduntersetzung 1:9 verbunden ist. Hierfür wurde auf dem Turbinenrad ein Zapfen befestigt, der Deckel des Zentrifugengehäuses über demselben durchbohrt und die Verbindung zwischen dem Zapfen und dem Zahnradsystem durch eine Gummikopplung hergestellt. Der Energieverbrauch dieser Vorrichtung ist sehr klein, so daß die maximale Geschwindigkeit trotzdem erreicht wird. Der Meßbereich des so gekoppelten Tachometers geht von 10000—45000 Umdrehungen/Min. Durch Zwischenschaltung eines Übersetzungsgetriebes 1:4 erreicht man auch die Tourenzahl kleiner als 10000 Umdrehungen/Min.

Außerdem wurde eine von der Firma mitgelieferte Apparatur umgebaut, um eine stroboskopische Geschwindigkeitsmessung durchzuführen. Ein Nebenschluß-Gleichstrommotor, dessen Tourenzahl leicht zu regulieren ist, und der durch eine elektromagnetische Wirbelstrombremse auf die Stromschwankungen im städtischen Netz fast nicht reagiert, betätigt den Unterbrecher einer Glühlampe und schließt bei jeder vollen Umdrehung den Stromkreis derselben. Vor dem Blickfenster dieser Lampe läuft eine mit einem radialen Schlitz versehene Scheibe, die mit einem Untersetzungsverhältnis 1:25 an die Aufhängespinde des Zentrifugenzylinders angeschlossen ist. Haben Motor und Scheibe gleiche Geschwindigkeit, so scheint der Schlitz durch die Trägheit des Auges stillzustehen. Stimmen die Geschwindigkeit der Scheibe und des Motors nicht überein, so sieht man den Schlitz sich mehr oder weniger langsam drehen. Die Tourenzahl des Motors kann an einem mit dem Motor gekoppelten Tourenzähler abgelesen werden, die Zentrifuge läuft dann 25mal so schnell.

Weiter sei noch auf einige kleine Änderungen, die am Fußlager sowie an der Auffangschüssel angebracht wurden, hingewiesen. Wurde die Zentrifuge bei Tourenzahlen unter 10000 Umdrehungen/Min. betrieben, so zersprühte zeitweilig die oben aus dem Zylinder abgeschleuderte Flüssigkeit in der Auffangschüssel in feinste Tröpfchen, die zwischen dieser und der Aufhängespinde heraustraten und quantitative Messungen ausschlossen. Um dies zu verhindern wurde unterhalb der Austrittsöffnungen des Zylinders eine Aluminiumscheibe, oberhalb derselben ein Gummiring angebracht. Die Durchmesser von beiden sind etwas größer als der Durchmesser der Schüssel bzw. der Deckelloffnung (Abb. 16).

Beim Stillsetzen der Zentrifuge sinkt mit abnehmender Tourenzahl das aus der Suspension gebildete Rotationsparaboloid langsam in sich zusammen. Bei einer bestimmten Tourenzahl (etwa 3500 Umdrehungen/Min.) beginnt die Flüssigkeit abzufließen. Damit die Flüssigkeit aus dem Fußlager heraustrreten kann, muß man vorher die Düse aus diesem herausziehen, so daß die Flüssigkeit nach unten frei ablaufen kann. Infolge der noch vorhandenen Rotationsgeschwindigkeit des Zylinders wird die Flüssigkeit in das Fußlager hineingeschleudert und kommt mit dem Preßstoffring und der Feder in Berührung. Die Folge davon ist, daß der Ablauf von einem Ölfilm bedeckt ist und meistens weggeschüttet werden muß. Selbst wenn man die Zentrifuge ganz langsam auslaufen ließ, war bei den bisherigen Versuchen nicht zu vermeiden, daß ein geringer Teil des abgeschiedenen Materials abgerissen bzw. abgespült wurde. Der Ablauf ist also immer mehr oder weniger trübe und die Menge der so verloren gehenden Teilchen so groß, daß sie nicht vernachlässigt werden kann. Um den Ablauf frei von Öl und sonstigen Verunreinigungen zu halten, wurde eine Änderung am Fußlager vorgenommen. Abb. 19a zeigt die von der Firma herausgebrachte Bauart, während aus Abb. 19b die jetzige Form zu ersehen ist. Der Führungsring ist bedeutend schmäler geworden, liegt etwas höher auf dem Führungszapfen und gibt so den unteren Teil desselben frei. Wenn die Zentrifuge ausläuft, so wird die Düse mit ihrer Fassung herausgezogen und eine passende Messinghülse eingeschoben, deren oberer Teil noch den Führungszapfen umhüllt. Hierdurch wird erreicht, daß die abfließende Flüssigkeit innerhalb der Hülse und somit frei von dem Schmieröl und den sonstigen Verunreinigungen durch das Fußlager bleibt.

Vor dem Auszentrifugieren wird in den Zylinder das Filmmaterial eingelegt, auf dem die Teilchen sich abscheiden sollen, dann das Bodenstück im Schraubstock mit dem Zylinder verschraubt. Durch eine Verschraubung von Hand war der Zylinder in den meisten Fällen, besonders bei hohen Tourenzahlen, nicht dicht. Das Material der Dichtungsringe spielt hierbei eine wesentliche Rolle.

Sobald die Blechschüssel eingesetzt ist, wird der Zylinder mit der Spindel verschraubt und das Fußlager befestigt. Je nach der Größe der gewünschten Zulaufgeschwindigkeit wird eine passende Düse gewählt und in das Fußlager eingeschoben.

Das Ingangsetzen der Zentrifuge geschieht durch langsames Hereindrehen eines Ventils, durch welches der seitwärts entweichende Luftstrom vom Kompressor her langsam gedrosselt und auf die Turbine geleitet wird. Hat sie die gewünschte Tourenzahl erreicht, wird durch Verstellen des Dreiegehahns, aus dem Druckgefäß solange Wasser in den Zylinder gespritzt bis es aus der Schüssel läuft und durch einen weiteren Dreiegehahn in einen Auffangbehälter geleitet wird. Die Zuflussgeschwindigkeit wird an dem Quetschhahn eingestellt. Sobald die Maschine bei der gewünschten Tourenzahl ruhig läuft, wird auf das linksseitige Druckgefäß, in welchem sich die Suspension befindet, umgestellt. Aus dem Standzyylinder bzw. dem Meßrohr läuft diese immer wieder nach und füllt das Druckgefäß bis zu der am Ventil eingestellten Höhe. Wurde die ganze Suspension hindurchgespült, so müssen Meßrohr und Druckgefäß mit Wasser nachgespült werden. Braucht nicht die Gesamtsuspensionsmenge auszentrifugiert zu werden, z. B. wenn aus dem großen Standzyylinder abgehobert wird, so muß man die im Zylinder und Druckgefäß verbliebene restliche Suspensionsmenge kennen und in Abzug bringen. In beiden Fällen ist nach dem Abstellen des Suspensionszulaufes der Zylinder mit Wasser nachzuspülen, um auch den letzten Teilchen ein Absetzen aus der fließenden Suspensionssäule zu ermöglichen. Als Maßstab für die Dauer des Nachspülens wurde die mittlere Durchflußgeschwindigkeit genommen, und zwar die doppelte Zeittdauer, die ein Teilchen mit dieser Geschwindigkeit brauchen würde, um den Zylinder zu durchqueren. Vor dem Abstellen der Zentrifuge wird die Einspritzdüse herausgezogen und die Messinghülse hineingeschoben. Der unten herausfließende Ablauf wird mit einer Porzellanschale aufgefangen. Nach dem Stillsetzen der Maschine werden die einzelnen Teile auseinandergeschraubt, der Zylinder aus dem Gehäuse herausgezogen und im Schraubstock geöffnet. Der Film wird an der überlappenden Stelle mit einer Pinzette erfaßt, vorsichtig herausgezogen und auf einer Glasplatte ausgebreitet.

Für eine Trennung in einzelne Fraktionen wird der Niederschlag bis zum Abstand  $y = 16$  cm in die Porzellanschale gespült, die den Ablauf enthält. Die

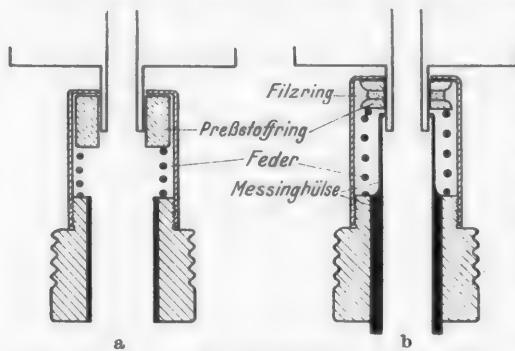


Abb. 19 a u. b. Ablauvorrichtung der Zylinderflüssigkeit beim Stillsetzen der Zentrifuge. a gelieferte Bauart; b geänderte Vorrang für quantitative Messungen.

kompressor her langsam gedrosselt und auf die Turbine geleitet wird. Hat sie die gewünschte Tourenzahl erreicht, wird durch Verstellen des Dreiegehahns, aus dem Druckgefäß solange Wasser in den Zylinder gespritzt bis es aus der Schüssel läuft und durch einen weiteren Dreiegehahn in einen Auffangbehälter geleitet wird. Die Zuflussgeschwindigkeit wird an dem Quetschhahn eingestellt. Sobald die Maschine bei der gewünschten Tourenzahl ruhig läuft, wird auf das linksseitige Druckgefäß, in welchem sich die Suspension befindet, umgestellt. Aus dem Standzyylinder bzw. dem Meßrohr läuft diese immer wieder nach und füllt das Druckgefäß bis zu der am Ventil eingestellten Höhe. Wurde die ganze Suspension hindurchgespült, so müssen Meßrohr und Druckgefäß mit Wasser nachgespült werden. Braucht nicht die Gesamtsuspensionsmenge auszentrifugiert zu werden, z. B. wenn aus dem großen Standzyylinder abgehobert wird, so muß man die im Zylinder und Druckgefäß verbliebene restliche Suspensionsmenge kennen und in Abzug bringen. In beiden Fällen ist nach dem Abstellen des Suspensionszulaufes der Zylinder mit Wasser nachzuspülen, um auch den letzten Teilchen ein Absetzen aus der fließenden Suspensionssäule zu ermöglichen. Als Maßstab für die Dauer des Nachspülens wurde die mittlere Durchflußgeschwindigkeit genommen, und zwar die doppelte Zeittdauer, die ein Teilchen mit dieser Geschwindigkeit brauchen würde, um den Zylinder zu durchqueren. Vor dem Abstellen der Zentrifuge wird die Einspritzdüse herausgezogen und die Messinghülse hineingeschoben. Der unten herausfließende Ablauf wird mit einer Porzellanschale aufgefangen. Nach dem Stillsetzen der Maschine werden die einzelnen Teile auseinandergeschraubt, der Zylinder aus dem Gehäuse herausgezogen und im Schraubstock geöffnet. Der Film wird an der überlappenden Stelle mit einer Pinzette erfaßt, vorsichtig herausgezogen und auf einer Glasplatte ausgebreitet.

Für eine Trennung in einzelne Fraktionen wird der Niederschlag bis zum Abstand  $y = 16$  cm in die Porzellanschale gespült, die den Ablauf enthält. Die

Zusammenballungen in dieser so erhaltenen Suspension werden in der Schüttelmaschine wieder zerteilt und die Suspension bei denselben Versuchsbedingungen wie bereits oben erklärt erneut auszentrifugiert. Je nach Bedarf werden die Zentrifugate durch Absaugen auf einem genügend feinporigen Membranfilter eingegengt. Durch die kleiner werdenden Zulaufgeschwindigkeiten bei der feinsten Fraktion (bis zu 5 cm<sup>3</sup>/min) werden die Versuchsdauern unter Umständen sehr lang.

Entsprechend seiner Bedeutung für die Auswertung des Spektrums soll etwas ausführlicher auf das verwendete Filmmaterial eingegangen werden. Der Film soll das Herausnehmen des Niederschlags aus dem Zylinder erleichtern, außerdem ein Haftenbleiben der Teilchen an der Absetzstelle ermöglichen. Verschiedene Materialien wurden ausprobiert, doch keines konnte beide Bedingungen gleichzeitig erfüllen. Für das Trennverfahren genügt im wesentlichen die erste Bedingung. Hierfür wurde ein Kollodiumfilm verwendet, welcher durch eine Leineneinlage hinreichend stabil gemacht ist und auch in nassem Zustande verhältnismäßig glatt anliegt. Ausprobiertes Cellophanmaterial quoll ungleichmäßig auf, Pergamentpapier zerriß beim Herausziehen.

Bei der Spektrenmethode soll die Menge der abgeschiedenen Substanz bis zu ganz bestimmten Abständen gewichtsmäßig bestimmt werden. Hierfür genügte der Kollodiumfilm nicht. Auch beim äußerst langsamem und gleichmäßigen Auslaufenlassen der Zentrifuge wurden von den sonst gut haftenden Niederschlägen tonhaltigen Materials Niederschlagsfetzen abgerissen und in den Ablauf gespült. Ein so beschädigter Film ist zur Auswertung nicht mehr verwendbar. Für tonhaltige Niederschläge wurde deshalb auf den Kollodiumfilm noch ein solcher von Pergamentpapier gelegt, dessen Haftvermögen ausreichte. Bei den untersuchten Quarzfaktionen genügte auch dieses Material nicht und es wurde ein dritter Film aus Fließpapier aufgelegt. Folgende Überlegungen waren hierfür maßgebend. Die gewichtsmäßige Bestimmung des abgesetzten Niederschlags soll in verhältnismäßig einfacher Weise geschehen. In den Abständen 1 2 4 8 cm wurden die beiden obersten Filme zerschnitten und für die Auswägung vorbereitet. Die Hauptmenge des Niederschlags hat sich in den Poren des Fließpapiers festgesetzt, ein kleiner Teil ist bis auf das Pergamentpapier gekommen. Voraussetzung ist hierbei, daß letzteres nicht zu grob ist, weil sonst die Teilchen bis auf den Kollodiumfilm vordringen.

Die Markierung der  $y$ -Abstände muß auf nassem Film erfolgen, um den Längenunterschied zwischen trockenem und nassem Papier zu berücksichtigen. Die abgeschnittenen, nummerierten Streifen werden auf Uhrgläser verteilt, im Trockenschrank bei 100° C getrocknet und dann gewogen. Als Gegengewicht wird auf die Waagschale jeweils ein gleich großes, gleich lange gewässertes, ebenfalls bei 100° getrocknetes Stück Pergament bzw. Fließpapier gelegt, so daß man unmittelbar das Gewicht der abgeschiedenen Niederschlagsmenge erhält. Beide Papiersorten müssen vorher auf Gewichtsunterschiede geprüft sein. Es darf nur vollkommen gleichmäßig ausgewähltes Papier verwendet werden. Um zusätzliche Fehlerquellen auszuschließen, ist es bei besser geeignetem Material angebracht, das Pergament- und Fließpapier schon in vorher gewogenen Streifen als Zylinderbelag zu verwenden.

Mit den letzten Kubikzentimetern des beim Stillsetzen der Zentrifuge abschließenden Zylinderinhalts werden in vielen Fällen geringe Spuren des

Niederschlags mit hinaus gespült, weil bei grobkörnigen Suspensionen das Porenvolumen des untersten Fließpapierstreifens nicht ausreicht, um alle Teilchen in sich aufzunehmen. Ihre Gewichtsmenge wird derjenigen des  $y$ -Abstandes 0 bis 1 cm zugezählt. Aus dem Gesamtgewicht der auszentrifugierten Teilchen einschließlich der durch den Zylinder hindurchgespülten, erhält man die in Prozent umgerechneten  $W_y$ -Werte. Als Kontrolle wird das Gewicht der im Zentrifugat suspendierten Teilchen bestimmt, indem man die Flüssigkeit über ein genügend feinporiges Membranfilter absaugt und den Niederschlag ebenfalls bis zur Gewichtskonstanz bei  $100^\circ$  trocknet. Die Auswertung des so erhaltenen  $W$ ,  $y$ -Diagrammes für die Kornanalyse geschieht wie bereits oben angegeben. Schon die ersten Versuche mit Suspensionen statt mit Farbstofflösungen deckten neue Probleme auf.

Die Menge der sich abscheidenden Substanz darf nicht zu groß sein, weil durch das an der Wand des Zylinders haftende Material der Querschnitt und damit die mittlere Geschwindigkeit der Suspensionssäule verändert wird. Dies gilt besonders für die voluminösen Niederschläge der Tonminerale.

Außerdem muß die Konzentration der verwendeten Suspension so bemessen sein, daß eine gegenseitige Behinderung und merkliche Zusammenballung der Teilchen während des Absinkens im Zentrifugalkraftfeld verhindert wird. Durch das verschieden schnelle Absedimentieren der größeren Teilchen gegenüber den kleineren ist die Gefahr sehr groß, daß viel kleines Material mit zu Boden gerissen wird (orthokinetische Koagulation).

Auch aus einem anderen Grunde muß die Konzentration sehr gering sein. Wie oben bereits erwähnt, wird der Zylinder vor Einlassen der Suspension mit Wasser gefüllt, und es wurde wie bei HAUSER und REED angenommen, daß die Teilchen im Zentrifugalkraftfeld einzeln absedimentieren würden. Dem ist aber nicht so, sondern die Suspension sedimentiert auch als Ganzes, so daß nicht nur der Dichteunterschied Teilchen-Wasser, sondern auch derjenige Suspension-Wasser zu berücksichtigen ist. Sehr anschaulich kann diese Erscheinung im Reagenzglas sichtbar gemacht werden. Die Suspension mit Teilchen vom Durchmesser  $2\mu$  wird vorsichtig dem im Reagenzglas befindlichen Wasser gleicher Temperatur überschichtet. Es kommt gar nicht zur Ausbildung einer deutlichen Trennungsschicht, sondern die Suspension fließt durch das Wasser mit ziemlicher Geschwindigkeit, sammelt sich auf dem Boden und bildet nun eine mehr oder weniger scharfe Grenzschicht gegen das Wasser. Die Suspension verhält sich also wie eine schwere Flüssigkeit. Eine prinzipielle Änderung tritt auch dann nicht ein, wenn die Suspension über eine spezifisch dichtere, wässrige Lösung, z. B. Zuckerlösung geschichtet wird. Mit dem Hineinsedimentieren der Teilchen in diese Lösung wirkt sich auch jetzt wieder der Dichteunterschied von Zuckerlösung + Teilchen gegen die Zuckerlösung in derselben Weise wie oben aus, und es sedimentieren kleine Suspensionstropfen ab.

Auf die Verhältnisse im Zylinder der Zentrifuge übertragen heißt dies, daß die Suspension sich nicht wie in der Rechnung vorausgesetzt in Schichten weiter vorschobt, die man gewissermaßen aus dem Gesamtquerschnitt der rotierenden Flüssigkeitssäule herausschneiden kann, sondern sie sammelt sich sehr schnell an der Zylinderwand und verdrängt langsam das im Zylinder befindliche Wasser. Durch die am Verteilerkreuz stattfindende Wirbelbildung

wird sich allerdings ein Teil der eintretenden Suspension mit dem Wasser vermischen, die Konzentration herabsetzen und somit diesen Effekt abschwächen. Er muß um so stärker in Erscheinung treten, je größer der Dichteunterschied Suspension-Wasser ist. Er wird gleich Null bei unendlich großer Verdünnung der Suspension, d. h. praktisch dann, wenn man nicht mehr von einer Suspension als Ganzes oder als schwererer Flüssigkeit reden kann, sondern wenn nur noch einige wenige, im Verhältnis zur Größe unendlich weit entfernte Teilchen ab sedimentieren.

Dieser Effekt des Unterschichtens wird sich so lange fortsetzen, bis das spezifisch leichtere Wasser praktisch aus dem Zylinder verdrängt ist. Er wird nicht durch die Rechnung erfaßt und bedeutet für die Auswertung der  $W_y$ -Werte eine mehr oder weniger große Fehlerquelle. Man muß also den Anteil an Suspension, der zum anfänglichen Füllen des Zylinders benötigt wird, klein machen gegenüber der Gesamtsuspensionsmenge. Entsprechende Überlegungen lassen sich auch für das Nachspülen mit Wasser bei Beendigung des Suspensionszulaufs anstellen.

Im Zylinder sedimentieren die einzelnen Teilchen aus der Suspension. Hierdurch wird bewirkt, daß die Dichte in den einzelnen Querschnitten der rotierenden Suspensionssäule nach außen hin zunimmt, so daß nun eine einfache Überschichtung nicht mehr möglich ist. Dafür tritt ein anderer, störender Effekt auf. In Abb. 20 sei in einem Längsschnitt durch die Zylinderachse schematisch eine Dichteverteilung in der rotierenden Säule angegeben. Die eingespritzte Suspension möge also eine Dichte von 1,07 haben. In Richtung senkrecht zur Achse steigt die Dichte bis 1,09, in Richtung parallel zur Achse fällt sie und zwar nicht so einfach wie angegeben, sondern irgendwie in Abhängigkeit von der Verteilungsfunktion des untersuchten Materials. Wie man sieht, kann auch jetzt noch kein Gleichgewichtszustand eintreten, insofern als sich die Schichten — anzugeben als die untereinanderstehenden Zahlenkolonnen — nicht mehr entsprechend der LAMBSCHEN Strömungsgleichung durch den Zylinder schieben. Es muß eine Verzerrung dieses idealen Strömungsbildes stattfinden weil eine Schubkraft hinzukommt und damit eine zusätzliche Bewegung in Richtung der angegebenen Pfeile erfolgen muß. Durch diesen „Dichteefekt“ wird bewirkt, daß die  $W_y$ -Werte des abgesetzten Spektrums am vorderen Teil des Zylinders zu niedrig, am hinteren zu hoch sein werden. Da im ersten Teil der Flüssigkeitssäule die Konzentrationsunterschiede wesentlich größere sind, werden die ersten Meßstreifen (bis zu  $y = 4$  cm etwa) besonders stark verändert. Mit zunehmendem Aussedimentieren der Teilchen zum hinteren Zylinderende wird dieser Effekt wegen des kleiner gewordenen Konzentrationsgradienten mehr und mehr abklingen. Um die hierdurch verursachten Fehler so gering wie möglich zu machen, muß auch hierfür die Konzentration der eingelassenen

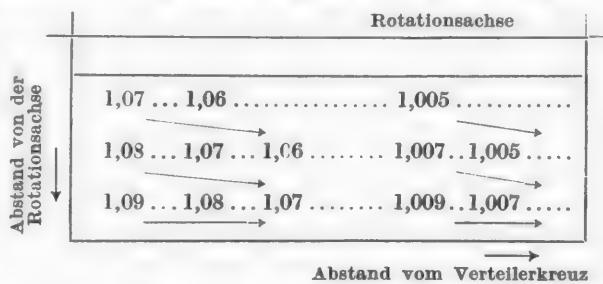


Abb. 20. Schematische Zeichnung des Konzentrations- bzw. Dichtegefälles innerhalb der durchfließenden Suspension.

Suspension so gering wie möglich gehalten werden. Die Konzentration der eingelassenen Suspension betrug in den meisten Fällen etwa 0,07% mit einem Dichteunterschied gegenüber Wasser von 0,0004.

Zu diesen Konzentrationseffekten kommen noch einige, die mit dem Bau des Verteilerkreuzes zusammenhängen. Die Suspension hat beim Herausspritzen aus der Düse eine bestimmte Geschwindigkeit in Richtung der Zylinderachse, die beim Auftreffen auf das Verteilerkreuz zwar stark vermindert wird, aber nicht ganz verschwindet. Unterstützt wird dieser Vorgang noch durch die runde Form der Innenfläche des Zylinderkopfes (Abb. 3). Hierdurch wird die Strömung, die durch die Schleuderwirkung am Verteilerkreuz zunächst radial gerichtet ist, zum Teil und besonders für den außen fließenden Anteil in Richtung der Zylinderachse umgelenkt. Dieser Vorgang wird sich auf dem Film besonders stark bemerkbar machen an denjenigen Stellen, wo die 4 Flügel des Kreuzes gewesen sind und diese die Suspension vor sich her in den Zylinder gedrückt haben. Man kann diese Erscheinung dadurch stark herabmindern, daß die Zulaufgeschwindigkeit so klein wie möglich gehalten wird. Bei 30 bis 40 cm<sup>3</sup>/min wurden solche Maxima nicht mehr beobachtet, so daß eine ziemlich vollkommene Verteilung am Kreuz angenommen werden kann. Wählt man die Zulaufgeschwindigkeit zu hoch, so besteht weiter die Gefahr, daß die beim Einlassen der Suspension entstehenden Wirbel weit in den Zylinder getragen werden und ein geordnetes Absetzen der Teilchen besonders im vorderen Teil des Zylinders verhindern. Hierdurch wird bewirkt, daß Teilchen, die sich hätten abscheiden müssen, mit der Strömung hinaus getragen werden. Beim Überwiegen dieses Effektes würde der mittlere Durchmesser der abgeschiedenen Teilchen als zu klein, derjenige der hindurchgespülten als zu groß gefunden werden.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, daß man vernünftige Ergebnisse nur erwarten kann, wenn die Konzentration der Suspension so gering wie irgend möglich gemacht und die Zulaufgeschwindigkeit auf ein Mindestmaß herabgesetzt wird. Nach Gl. (6f) ist diese aber mit der Tourenzahl verkoppelt. Letztere ist durch die Stabilität der rotierenden Flüssigkeitssäule nach unten begrenzt und somit ist für die größte Zentrifugenfraktion (2 μ bis 0,5 μ) auch die Zulaufgeschwindigkeit nach unten festgelegt. Für die praktische Verwendbarkeit der Methode sei hervorgehoben, daß es möglich ist, bei hinreichend niedriger Zulaufgeschwindigkeit (bis 40 cm<sup>3</sup>/min) Teilchen vom mittleren Durchmesser 2 μ im Abstand  $y = 1$  cm zur Abscheidung zu bringen, einen zwar kleinen, aber schon auswertbaren Abstand. Damit hat man mit dieser Methode den Anschluß an das Schlämmverfahren im Atterbergzylinder bekommen, das im allgemeinen bis zu dieser Teilchengröße herab ausgeführt wird.

Zur Überprüfung der vorangegangenen Überlegungen wurden Suspensionen von Dörentruper Quarzmehl untersucht. Die Kornverteilung wurde einmal aus den  $W_y$ -Werten des abgeschiedenen Spektrums, zum anderen durch eine Trennung in einzelne Kornklassen bestimmt.

Die Aufbereitung der Quarzproben geschah in folgender Weise: Aus der Ausgangssubstanz wurde ein Teil der Fraktion < 2 μ abgeschlämmt und hierbei Wert darauf gelegt, möglichst viele Teilchen von der Größenordnung 0,5 μ bis 0,1 μ zu erhalten und die größeren, die an sich gewichtsmäßig den Hauptanteil

ausmachen, zurückzudrängen. Die Kurven geben also kein Bild der wahren Kornverteilung von dem gelieferten Quarzmehl. Das Abschlämmen wurde in Standgefäß von etwa 9 Liter Inhalt ausgeführt. Vor Entnahme der Probe aus der Vorratsflasche wurde die Suspension durchgeschüttelt bis eine gleichmäßige Durchmischung erreicht war und sofort die gewünschte Menge entnommen. Um eine mögliche Zusammenballung von Teilchen während des langen Stehens der Suspension zwischen den einzelnen Versuchen zu beseitigen wurde die um das etwa Zehnfache verdünnte Suspensionsprobe ungefähr 40 Stunden in der Schüttelmaschine erneut aufbereitet. Diese Menge wurde dann kurz von dem Zentrifugierversuch durch weiteres Verdünnen auf die gewünschte Konzentration gebracht.

Es sollen zunächst die Ergebnisse nach der Trennmethode wiedergegeben werden. Die erste Fraktion ( $2\text{ }\mu$  bis  $0,5\text{ }\mu$ ) wurde nach 12maligem Auszentrifugieren einer Quarzsuspension mit 1 g Substanz in  $1500\text{ cm}^3 \text{NH}_3$ -Wasser erhalten. Von der nächsten Fraktion ( $0,5\text{ }\mu$  bis  $0,1\text{ }\mu$ ) wurden die ersten 5 Zentrifugate gesammelt. Weil anzunehmen ist, daß in diesen praktisch alle Teilchen, welche in die nächstkleinere Größenklasse gehören, enthalten sind, wurde hieraus der dieser Klasse zukommende Gewichtsanteil bestimmt. Um eine Extrapolation durchführen zu können, wurde für die zweite Fraktion erst vom sechsten Zentrifugat an jeweils der Quarzanteil durch Absaugen und Eindampfen des Zentrifugates bestimmt, die fehlenden ersten 5 Werte aus einem Parallelversuch ermittelt. Der Prozentanteil wurde für die einzelnen Fraktionen wie folgt bestimmt:

$$2\text{ }\mu \text{ bis } 0,5\text{ }\mu : 60\% \quad 0,5\text{ }\mu \text{ bis } 0,1\text{ }\mu : 39,5\% \quad < 0,1\text{ }\mu : 0,5\%.$$

Das Ergebnis ist durch die entsprechenden Rechtecke sowie durch die über diese mittelnde Verteilungskurve (A) in Abb. 21a graphisch dargestellt.

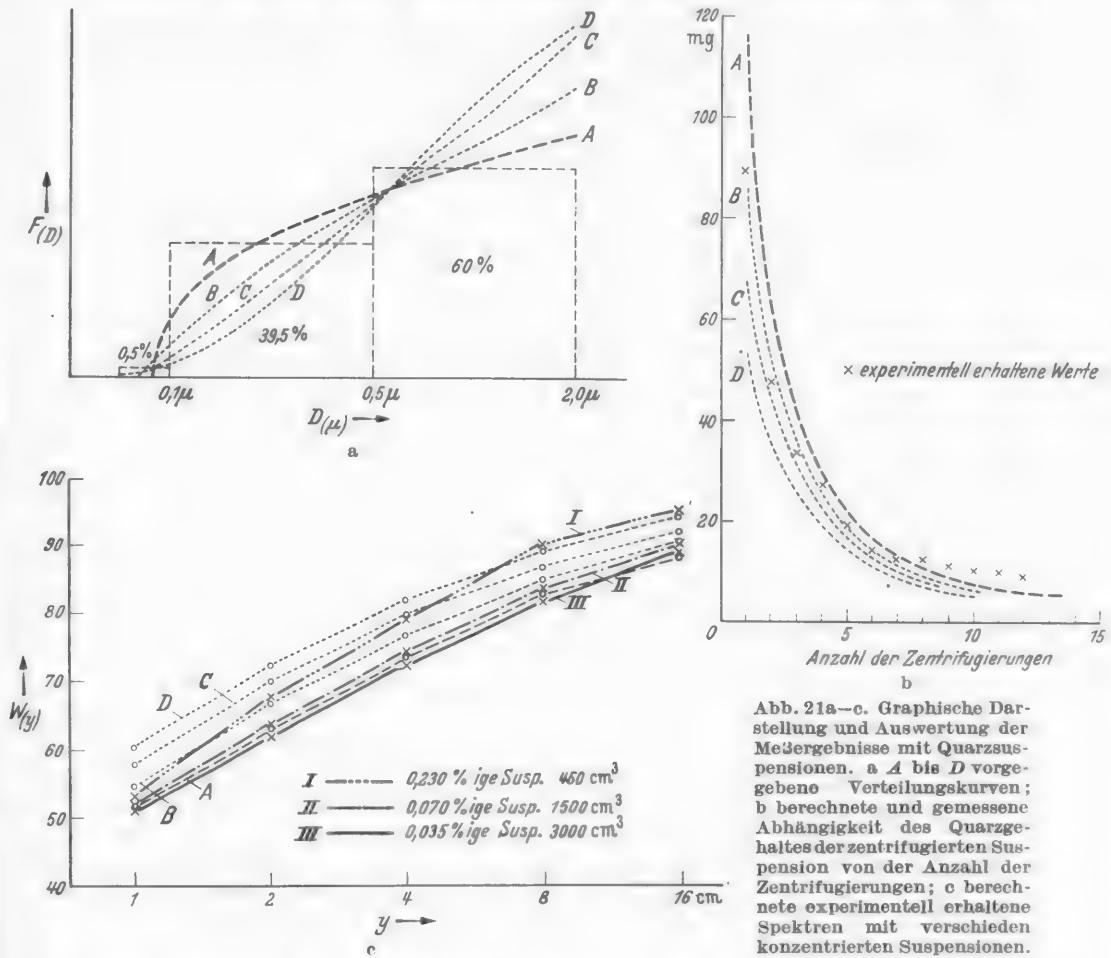
Eine Extrapolation ist deswegen nötig, weil in den letzten Zentrifugaten der Quarzanteil nur noch wenig abnimmt, wie aus den in Abb. 21b eingetragenen, experimentell erhaltenen Werten zu entnehmen ist. Der beim Auszentrifugieren noch nicht abgetrennte Anteil dieser zweiten Fraktion am Filmniederschlag ist also verhältnismäßig hoch, und kann nicht vernachlässigt werden. Als Anhaltspunkt für die richtige Abschätzung dieses Betrages sind die Quarzmengen berechnet, wie sie nacheinander bei Zugrundelegung den Verteilungskurven A bis D (Abb. 21a) in den Zentrifugaten enthalten sein müßten, und diese Werte durch eine Kurve verbunden. Während die ersten 7 Punkte um die Verteilungskurve B streuen, weichen die folgenden nach oben zu ab. Eine Extrapolation wird hierdurch erschwert. Geringe Verunreinigungen in dem etwa  $2000\text{ cm}^3$  fassenden Zentrifugat können dies bewirken, vor allem weil der Versuchsraum nicht genügend staubfrei war. Ein anderer Grund, warum man letzten Endes auf die Verteilungskurve A gelangt, wird die ungenügende Verdünnung der Suspension sein. Wie im folgenden gezeigt wird, liefert die Spektrenmethode bei  $1500\text{ cm}^3$  Suspension die Verteilungskurve B, während A die richtigere Kurve sein wird. Das heißt der Fehlbetrag der ersten Zentrifugate aus den im vorigen Kapitel beschriebenen Gründen wird sich im Laufe der weiteren Zentrifugierungen ausgleichen, und die letzten Werte über der der berechneten Kurve A liegen.

Zur experimentellen Nachprüfung der weiter oben erwähnten Fehlerquellen wurden bei der Spektrenmethode drei verschiedene Konzentrationen gewählt.

Jeweils 1 g Quarzteilchen wurden in 450, 1500, 3000 cm<sup>3</sup> 0,01 n NH<sub>3</sub>-Wasser suspendiert. Die entsprechenden Konzentrationen sind also 0,23, 0,07, 0,035%ig, die übrigen Versuchsbedingungen

$$N = 4,3 \quad Q = 39 \quad \eta = 1 \quad \Delta \rho = 1,65.$$

In Abb. 21c sind die experimentell erhaltenen  $W_y$ -Werte eingetragen und der besseren Übersicht wegen durch verschiedene markierte Linien verbunden. Aus



dem Diagramm geht hervor, daß die  $W_y$ -Werte bei sonst gleichen Bedingungen von der Konzentration der Suspension abhängen. Während die Werte für die 0,07 und 0,035%ige Suspension verhältnismäßig nahe beieinander liegen, weicht die oberste Kurve (I) um mehrere Prozent ab. Nach den Ausführungen im vorigen Abschnitt muß die am stärksten verdünnte Suspension die richtigsten Werte liefern.

Zur Auswertung dieses Diagrammes wurden nach Tabelle 1 die  $W_y$ -Werte für die Verteilungskurven A B C D (Abb. 21a) berechnet. Das Schema einer solchen Umrechnung ist in Tabelle 3 für die Verteilungskurve A wiedergegeben.

Tabelle 3. Berechnung eines  $W_y$ ,  $y$ -Diagrammes für Verteilungskurve A.

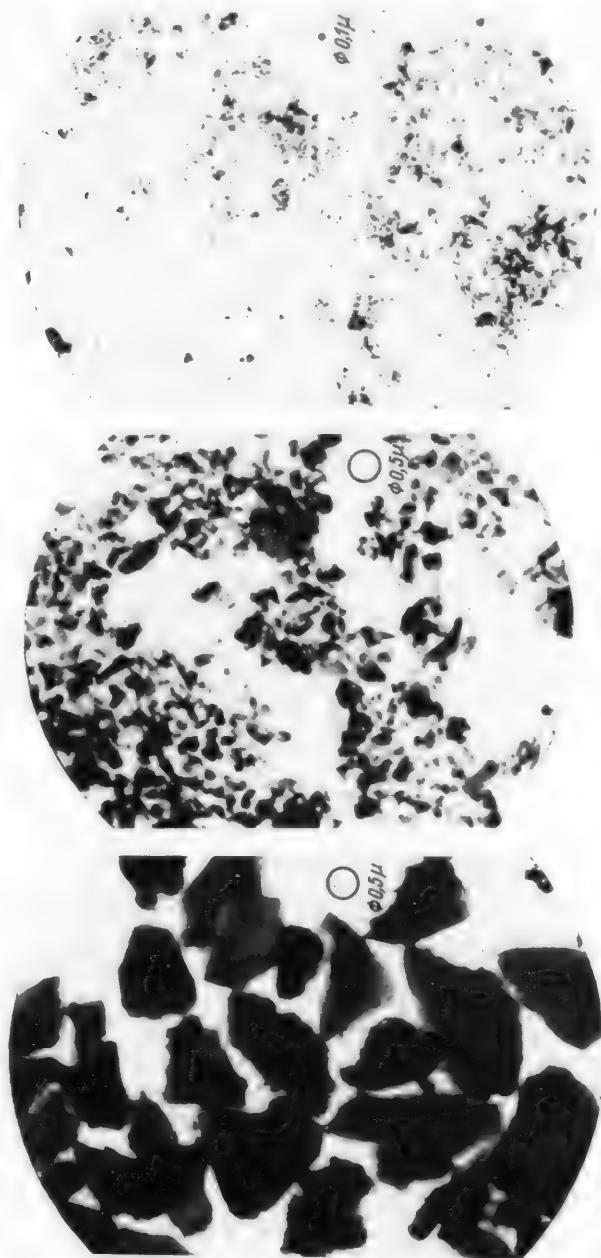
Korngrößenklasse	Anteil gemäß $F_D$ %	Trennzahlen %	0—1	0—2	0—4	0—8	0—16
E	16,5	92,5	{ 16,5 · 0,925 15,2	16,5 · 1 16,5	16,5 · 1 16,5	16,5 · 1 16,5	16,5 · 1 16,5
F	15,5	75,0	{ 15,5 · 0,75 11,6	15,5 · 0,925 14,3	15,5 · 1 15,5	15,5 · 1 16,5	15,5 · 1 16,5
G	14,6	60,0	{ 14,6 · 0,6 8,8	14,6 · 0,75 10,9	14,6 · 0,925 13,5	14,6 · 1 14,6	14,6 · 1 14,6
H	13,3	46,5	{ 13,3 · 0,465 6,2	13,3 · 0,6 8,0	13,3 · 0,75 10,0	13,3 · 0,925 12,3	13,3 · 1 13,3
I	12,1	34,0	{ 12,1 · 0,34 4,1	12,1 · 0,465 5,6	12,1 · 0,6 7,3	12,1 · 0,75 9,1	12,1 · 0,925 11,2
K	10,9	24,5	{ 10,9 · 0,245 2,7	10,9 · 0,34 3,7	10,9 · 0,425 5,1	10,9 · 0,6 6,5	10,9 · 0,75 8,2
L	9,3	17,5	{ 9,3 · 0,175 1,6	9,3 · 0,245 2,3	9,3 · 0,34 3,1	9,3 · 0,465 4,3	9,3 · 0,6 5,6
M	6,8	12,5	{ 6,8 · 0,125 0,9	6,8 · 0,175 1,2	6,8 · 0,245 1,7	6,8 · 0,34 2,3	6,8 · 0,465 3,2
N	1,0	9	{ 1,0 · 0,09 0,1	1,0 · 0,125 0,1	1,0 · 0,175 0,2	1,0 · 0,245 0,2	1,0 · 0,34 0,3
	100 %		51,3	62,9	72,9	82,3	88,1

Ein Vergleich der berechneten und experimentell erhaltenen  $W_y$ -Werte zeigt folgendes: Die Kurve III stimmt in ihren  $W_y$ -Werten innerhalb der Fehlergrenzen mit der berechneten Kurve A überein. Die zugehörige Verteilungskurve wird also auch nach der Spektrenmethode erhalten. Sie gibt also die richtige Korngrößenverteilung des abgeschlämmten Quarzmehls an. Die Kurve II nähert sich bei  $y = 16$  cm der Kurve B, weicht in den ersten  $y$ -Werten stärker von dieser ab, während die Kurve I bei noch stärkerer Abweichung anfangs der Kurve A, dann der Kurve D nahekommt. Hierfür werden die weiter oben erwähnten Fehlermöglichkeiten verantwortlich zu machen sein.

Durch diesen Vergleich der beiden Methoden dürfte also der Beweis erbracht sein, daß die Spektrenmethode, wenn richtig und im möglichen Rahmen angewendet, zu brauchbaren Ergebnissen führt. Allerdings ist noch der Beweis zu erbringen, daß die abgetrennten Fraktionen auch wirklich nur Körner der Größenordnungen  $2\mu$  bis  $0,5\mu$ ,  $0,5\mu$  bis  $0,1\mu$  usw. enthalten. Dieses war durch Aufnahmen im Übermikroskop möglich. Abb. 22a zeigt ein Bild der grössten Fraktion nach 12maligem Auszentrifugieren. Man findet keine Körner mit einem Durchmesser  $< 0,5\mu$ , wobei allerdings zu bemerken ist, daß der hieraus bestimmbar mittlere Durchmesser größer sein wird als der wirkliche, denn die Körner werden durchweg auf der abgeplatteten Seite liegen. Abb. 22b zeigt die nächste Fraktion und zwar eine Mischung aus den ersten 5 Zentrifugaten. Die Teilchen vom mittleren Durchmesser  $< 0,1\mu$  sind hierbei noch nicht abgetrennt. Es dürfen keine Teilchen mit einem mittleren Durchmesser  $>$  als  $0,5\mu$  in dieser Fraktion enthalten sein, wobei die eventuelle Abplattung der Körner sowie die Anhäufung zu Aggregaten zu berücksichtigen ist. Schließlich zeigt Abb. 22c die feinste noch abgetrennte Fraktion mit einem mittleren Durchmesser  $<$  als  $0,1\mu$ .

Eine scharfe Abtrennung der Kornklassen nach der Trennmethode nimmt durch die zahlreichen Versuchsgänge viel Zeit in Anspruch. Besonders anschaulich geht dies aus dem Diagramm von Abb. 21b hervor, demzufolge die Abnahme des Quarzgehaltes in den letzten Zentrifugaten von zwei aufeinanderfolgenden Versuchen nur sehr gering ist. Geringe Verunreinigungen von außen her können schon zu falschen Ergebnissen führen. Durch Verwendung größerer Suspensionsmengen können diese Fehlermöglichkeiten teilweise umgangen werden, doch bedingt dies längere Versuchsdauern, die für niedrigere Tourenzahlen vor weiterer Vervollkommnung der Zentrifuge vermieden werden sollten.

Abb. 22a-c. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von 3 Quarzfaktionen (7000 $\times$ ) a 2 $\mu$  bis 0,5 $\mu$ ; b < 0,5 $\mu$ ; c < 0,1 $\mu$ .



Fällen in Kauf nehmen, wodurch die Gesamtzeit des Zentrifugierens abgekürzt wird. Überdies ist es unbedingt erforderlich eine intensivere, kürzere Aufbereitungsmethode, z. B. durch eine Kolloidmühle oder Ultraschall anzuwenden

bzw. zu entwickeln. So war es nach den bisherigen Untersuchungen an Tonen nicht möglich, in der Schüttelmaschine aus dem an der Zylinderwand abgesetzten Niederschlag den ursprünglichen Verteilungszustand wieder herzustellen.

Übermikroskopische Bilder ergaben weiter, daß die Fraktion des achten Auszentrifugierens schon recht einheitlich in der Korngröße ist und der mittlere Korndurchmesser durchweg den theoretisch geforderten Grenzwert von  $0,5\text{ }\mu$  erreicht hat. Diese Fraktionen haben also den Vorteil, daß sie verhältnismäßig viel Material von einheitlichem Durchmesser liefern, das wieder als Ausgangsstoff für viele Versuche, z. B. der Lösungsgeschwindigkeit, Tixotropie usw. Verwendung finden kann.

Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, daß einer Korngrößenanalyse noch einige Mängel anhaften. Zum Teil können sie behoben werden, zum Teil sind sie unvermeidlich und ihre Wirkung kann nur durch geeignete Versuchsbedingungen abgemildert werden.

Durch starkes Herabsetzen der Konzentration erhält man ein anderes und nach meiner Meinung richtigeres Verteilungsbild des suspendierten Materials. Aus diesem Grunde können die experimentellen Ergebnisse von HAUSER und REED nicht ohne weiteres als richtig hingenommen werden. Die Menge der Suspension betrug dort  $282\text{ cm}^3$  und entspricht etwa dem einfachen Zylinderinhalt. Der Fehler, welcher durch den Unterschichtungseffekt entsteht, wird aber um so kleiner, je mehr Vielfache des Zylinderinhaltes auf die Gesamt-suspensionsmenge kommen. Die Konzentration bei dem Versuch von HAUSER und REED war  $0,46\%$ ig, die konzentrierteste, bei mir verwendete Suspension  $0,23\%$ ig, so daß die Verhältnisse auch für den Dichte-Effekt wesentlich ungünstiger liegen.

Entsprechendes kann man auch zu den Versuchen von NORTON und SPEIL sagen, die auch nicht die wirklich gewünschte Korngrößenklasse abzentrifugierten, sondern größere Abweichungen erhielten. Hier wurde sogar eine 2%ige Suspension durch die Zentrifuge geschickt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß in diesem Fall sehr viel feines Material durch die schneller absinkenden, größeren Teilchen mit zu Boden gerissen wird, besonders bei den blättchenförmigen Tonmineralen, denn der „mittlere freie Abstand“ der Teilchen ist bei so starken Konzentrationen schon sehr klein. Über die Suspensionsmenge, die jeweils durch den Zylinder geschickt wurde, ist in der Arbeit leider nichts erwähnt. Die Durchlaufgeschwindigkeit ist verhältnismäßig groß, so daß ein anderes Strömungsbild, als das der Rechnung zugrunde gelegte, entstehen muß. Hierauf ist weiter oben schon eingegangen worden.

Hinsichtlich der hier verwendeten Cepa-Schnellzentrifuge sind einige Verbesserungen bereits in unserer Werkstatt ausgeführt. Andere können vorläufig nur vorgeschlagen werden und bedürfen dann einer Überprüfung. Eine zweckmäßige Aufhängung der rotierenden Teile, die außerdem eine weitere Herabsetzung der Erschütterungsamplitude und ein leichteres Konstanthalten der Tourenzahl ermöglicht, kann durch Benutzung eines Luftpolsters statt eines Kugellagers erreicht werden. Diese Anordnung hat sich bei den luftbetriebenen Ultrazentrifugen ausgezeichnet bewährt. Während die Abflußverhältnisse im oberen Teil des Zylinders durch Einbau einer ringförmigen Düse weitgehend verbessert werden können, ist die Konstruktion des unteren Zylinderteils für

quantitative Messungen wenig geeignet. Besonders das Verteilerkreuz bedarf einer besseren Durchkonstruktion. In Abb. 23 ist ein Vorschlag für die Umgestaltung des unteren Zylinderteils gemacht worden. Die Verschraubung des Zylinderkopfes sitzt außerhalb des Zylindermantels. Hierdurch wird erreicht, daß der Film eng an den Zylinderkopf angrenzen kann. Bisher setzte sich ein Teil des Niederschlaiges in dem nichtbenutzten Schraubengewinde fest. Wird dieser Teil des Gewindes vom Film mitbedeckt, so besteht die Gefahr, daß er sich beim Festziehen des Kopfteilgewindes verzieht, was natürlich erst nach Beendigung des Versuchs festgestellt werden kann. Es ist außerdem erforderlich, ober- und unterhalb des Gewindes eine Zylinderführung anzubringen um Schwerpunktsverlagerungen beim wiederholten Verschrauben auszuschließen und die Erschütterungsamplitude möglichst nicht zu verändern.

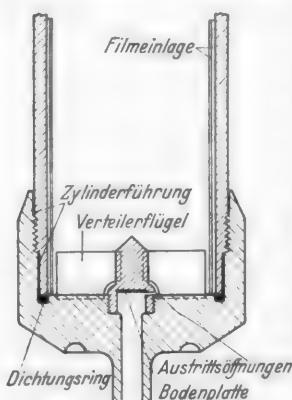


Abb. 23. Zylinderkopf für quantitative Messungen.

Das Einlassen der Suspension geschieht in der Weise, daß sie zunächst auf die Mitte einer radial ausgefrästen Bodenplatte gespritzt und in deren Rillen nach außen geschleudert wird. Durch die kleinen Austrittsöffnungen seitlich der Platte tritt sie heraus und trifft auf die stehende Flüssigkeitssäule. Durch die Verteilerflügel, mindestens acht an der Zahl, erhält sie dieselbe Winkelgeschwindigkeit wie der Zylinder. Die Flügel sind zusätzlich an einer in den Zylinder hineinragenden Säule verstrebt; ihre Länge ist so bemessen, daß genügend Zwischenraum zum Film hin übrig bleibt. Ob es möglich ist, einen solchen Zylinderkopf auch für sehr starke Zentrifugalbeschleunigungen hinreichend stabil zu machen, muß von fachmännischer Seite beurteilt

werden. Für eine Tourenzahl von 4000—5000 Umdrehungen/Min. dürfte es keine Schwierigkeiten machen.

Eine weitere Verbesserung der Methode kann durch geeigneteres Filmmaterial erreicht werden. Bei der Methode des fraktionierten Auszentrifugierens wurde nur der Kollodiumfilm mit Leineneinlage benutzt. Er lag verhältnismäßig glatt an der Wandung an, hatte bei den Versuchen mit Quarzmehl aber den Nachteil, daß ein Teil der Körner sehr fest in ihn hineingedrückt wurde, und der letzte Rest an Niederschlag mit dem Pinsel schwer herunterzubekommen war. Für die Spektrenmethode wurden für Tone zwei, für Quarzmehl sogar drei Filmeinlagen benötigt. Vielleicht ist es möglich, mit zwei oder sogar mit einer Einlage von geeignetem Material auszukommen. Dieses muß an der Oberfläche rauh und porös sein, um das Abrollen und Abgleiten der Teilchen beim Stillsetzen der Zentrifuge zu verhindern. Die Rückseite muß so imprägniert sein, daß sie für die feinsten Teilchen noch undurchlässig ist. Will man nur einen Film benutzen, so muß das Material eine genügend hohe Zugfestigkeit haben, damit es beim Herausziehen des Filmes nicht zerreißt. Für Gewichtskonstanz über den ganzen Film muß garantiert sein.

In mancher Hinsicht sind also die hier beschriebenen Methoden noch verbessерungsbedürftig, und es müssen weitere Erfahrungen gesammelt werden. Das Auswerteverfahren für Bestimmungen der Kornverteilung bietet bei Be-

nutzung der  $W_y, y$ -Diagramme nach dem weiter oben vorgeschlagenen Muster keine Schwierigkeiten mehr. Weitere Diagramme sind leicht selbst anzufertigen.

Durch Benutzung eines Übermikroskops, das mir durch Herrn Dozent Dr. HANS KÖNIG, Göttingen, freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde, und Verwendung von Quarzteilchen statt blättchenförmiger Tonminerale, war es möglich, sich augenscheinlich von der Wirkungsweise und vom Wirkungsgrad der hier verwendeten Cepa-Durchlaufzentrifuge zu überzeugen.

Herrn Prof. Dr. C. W. CORRENS danke ich für das besondere Interesse, welches er den vorliegenden Untersuchungen entgegengebracht hat.

#### Zusammenfassung.

Das Prinzip der Abtrennung und der Bestimmung der Kornklassen wird an einem Modell erklärt. Für die vorliegende Untersuchung an kolloidalen Teilchen wird eine Durchlaufzentrifuge mit Klärzylinder benutzt.

Das Abscheiden der Teilchen erfolgt aus einem durch die Zentrifugalkraft entstehenden Hohlzylinder, der laminar von der Suspension durchflossen wird. Aufbauend auf die mathematischen Ableitungen von HAUSER und REED wird ein einfache zu handhabendes Auswerteverfahren zur Bestimmung der Kornverteilung entwickelt und werden verschiedene Möglichkeiten von Kontrollmessungen besprochen.

Bei dieser „Spektrenmethode“ wird das Gewicht  $W_y$  des sich im Zylinder auf einem Film abscheidenden Niederschlags bis zu Höhen von  $y = 1, 2, 4, 8, 16$  cm ermittelt, in einem  $W_y, y$ -Diagramm gezeichnet und mit  $W_y, y$ -Schablonen verglichen, die auf Grund einer Tabelle aus verschiedenartigen Verteilungskurven berechnet wurden. Stimmt die  $W_y, y$ -Kurve schon mit einer der berechneten  $W_y, y$ -Kurven überein, so ist die der letzteren zugrunde gelegte Verteilungskurve auch die Verteilungskurve des auszentrifugierten, dispergierten Materials. Liegt die  $W_y, y$ -Kurve zwischen zwei berechneten Kurven der Schablone, so muß man eine dieser beiden Verteilungskurven so lange verändern, bis die zugehörige  $W_y, y$ -Kurve mit der experimentell erhaltenen übereinstimmt.

Zur Abtrennung von Kornklassen nach der „Trennmethode“ wird das Prinzip des wiederholten Abschlämms benutzt. Bei Verwendung einer Zylinderlänge von 16 cm kann man z. B. bei voller Ausnutzung der Leistung der Zentrifuge folgende Größenklassen erhalten:

$$2\mu - 0,5\mu; \quad 0,5\mu - 0,12_5\mu; \quad 0,12_5\mu - 0,03_6\mu.$$

Der Aufbau der Gesamtapparatur wird beschrieben. Messungen der Strömungsverhältnisse in der hindurchfließenden Suspension ergaben, daß für quantitative Bestimmungen Veränderungen am Zylinder angebracht werden mußten. Durch die Änderungen war es möglich, die Verteilungskurve für Teilchen bis herauf zu  $2\mu\varnothing$  zu bestimmen und damit Anschluß an das Schlämmen im Schwerefeld der Erde zu gewinnen.

Beide Methoden wurden mit Quarzsuspensionen überprüft und dabei festgestellt, daß das abgeschiedene Spektrum von der Konzentration der Suspension abhängt. Die verschiedenen Gründe hierfür werden diskutiert. Es dürfen nur

sehr verdünnte Suspensionen verwendet werden. Bei hinreichender Verdünnung stimmt die nach der Trennmethode erhaltene Verteilungskurve mit der nach der Spektrenmethode ermittelten innerhalb der erreichbaren Genauigkeit überein. Die abgeschiedenen Kornklassen wurden im Elektronenmikroskop untersucht und keine Abweichungen von den Fraktionsgrenzen festgestellt.

#### Literatur.

BERG, S.: Die Tauchwaagenmethode zur Bestimmung der Korngrößenverteilung. Ber. dtsch. keram. Ges. Bd. 23 (1942). — HAUSER, E. A. and C. E. REED: Particle-size distribution in colloidal systems. J. phys. Chem. Bd. 40 (1936) S. 1169. — JASMUND, K.: Über den Mineralbestand einiger Kaoline unter besonderer Berücksichtigung der kolloiden Größenordnung. Chem. d. Erde Bd. 12 (1940) S. 508. — Korngrößenabtrennung und Bestimmung der Korngrößenverteilung kolloider Teilchen mit einer Durchlaufzentrifuge. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. (1947) S. 14. — NORTON, F. H. and S. SPEIL: The fractionation of a clay into closely monodispersed systems. J. Amer. ceram. Soc. Bd. 21 (1938) S. 367. — SVEDBERG, T. u. K. O. PEDERSEN: Die Ultrazentrifuge. In Handbuch der Kolloidwissenschaft, Bd. VII. 1940.

(Aus dem Sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen.)

## Die mikroskopische Unterscheidung von Mineralen der Karbonatgruppe.

Von

HILMAR SCHUMANN.

Mit 1 Textabbildung.

(Eingegangen am 15. April 1948.)

### Inhaltsübersicht.

Einleitung . . . . .	381
1. Anfärben . . . . .	381
2. Schwere Flüssigkeiten . . . . .	383
3. Doppelbrechung . . . . .	384
4. Dispersion der Doppelbrechung . . . . .	385
5. Lichtbrechung . . . . .	386
a) in Lockerprodukten . . . . .	386
b) in Dünnschliffen . . . . .	386
Zusammenfassung . . . . .	392
Literatur . . . . .	393

### Einleitung.

Die petrographische Untersuchung der Karbonatgesteine steht vor einer Anzahl von Problemen — es sei namentlich auf die Dolomitierung, die Metasomatose, die Beurteilung des ursprünglichen Materials und späterer Veränderungen der darin enthaltenen Fossile hingewiesen —, welche mit der chemischen Analyse allein ebensowenig wie bei anderen Gesteinen gelöst werden können, sondern auch hier großenteils von der mikroskopischen Strukturanalyse erwartet werden müssen. Für viele Fragen kommt es dabei darauf an, von einer speziellen Korngruppe sagen zu können, ob es sich um Kalkspat, Dolomit, Siderit usw. handelt. Während nun unsere mikroskopischen Methoden für solche diagnostischen Zwecke betreffs der meisten nichtopaken Minerale, namentlich der Silikatminerale bereits sehr hoch entwickelt sind, lassen sie uns bei der so wichtigen Gruppe der trigonalen Karbonate weitgehend im Stich. Es soll im Nachstehenden versucht werden, einen Überblick über diejenigen Methoden zu bieten, die dem oben genannten diagnostischen Ziel näher kommen, soweit ich sie selbst für die Untersuchung von Karbonatgesteinen erproben oder neu entwickeln konnte.

### 1. Anfärben.

Schöne Erfolge sind mit *Färbemethoden* erzielt worden. Es werden dabei in ähnlicher Weise wie Quarz und Feldspat im Dünnschliff durch Anfärben getrennt werden können [1], [2], Kalkspat von Dolomit oder eisenhaltigen Gliedern der Ankeritreihe unterschieden. Nach einer von HALLIMOND und SUTCLIFFE [3] veröffentlichten Arbeitsweise werden die Karbonate mit einer je nach der

Größe des Eisengehaltes verschieden tiefbraun gefärbten Oxydschicht versehen. Die Trennung sehr stark und sehr schwach eisenhaltiger Mischungsglieder (Ankerite, Breunnerite, Siderite usw.) voneinander ist schätzungsweise möglich. Die Oxydation geschieht mittels wasserstoffperoxydhaltiger Kalilauge. Das Verfahren, das I. LEMBERG [4] angegeben hat [Ausfällung von  $\text{Al(OH)}_3$  aus  $\text{Al}_2\text{Cl}_6$ -Lösung durch  $\text{CO}_2$ , des eben durch dies Aluminiumchlorid angeätzten Kalkspates und Färbung des gebildeten Aluminiumhydroxyds mittels Hämatoxilin] eignet sich zur Unterscheidung des Kalkspates von den übrigen Karbonaten in Anschliffen. Es ist auch für Dünnschliffe verwendbar: das geätzte und gefärbte Präparat (noch nicht eingedeckter Dünnschliff) wird rasch unter Aufblasen getrocknet, dann mit in Äther gelöstem Kanadabalsam überschichtet und mit einem Deckgläschen bedeckt. Trotz aller Vorsicht wird der blaue Lacküberzug rissig, was nur bei grobkörnigem Material und schwacher Vergrößerung nicht schadet. Nach meinen Versuchen ist es am günstigsten, die Aluminiumchloridlösung etwa 5 Min. einwirken zu lassen. Wenn die Färbung nach dem Abspülen nicht tief genug ist, so kann man die Behandlung nochmals in gleicher Weise wiederholen. Es kommt darauf an, die Farbschicht nicht dicker und die Färbung nicht tiefer zu machen, als unbedingt für die Erkennung im durchfallenden Licht nötig ist. Erstens löst sich die Lackschicht beim Abspülen desto leichter, je dicker sie ist, zweitens zieht sie sich desto stärker unter Rißbildung beim Trocknen zusammen und drittens entfallen immer mehr Möglichkeiten, andere mikroskopische Methoden anzuwenden. Diese Reaktion ist auf der Tatsache aufgebaut, daß Kalkspat wesentlich leichter und rascher durch Salzlösungen starker Elektrolyte zersetzt wird als die übrigen Karbonate. Solche Zersetzungshängen aber außer vom Material auch sehr stark von der *Dauer der Einwirkung* und von der *Korngröße* ab. Auch auf feinkörnigem Dolomit erhielt ich bei gleicher Behandlung einen blaßblauen Überzug. LEMBERG [5] hat auch noch eine Reihe weiterer Reaktionen (mit  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{KJ}$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4 \dots$ ) angegeben, mit denen man im *Dünnschliff*  $\text{MnCO}_3$ ,  $\text{ZnCO}_3$ ,  $\text{PbCO}_3 \dots$  unterscheiden kann. Es kann hier nicht im einzelnen darauf eingegangen werden. Es bedarf einer gewissen Geschicklichkeit und Übung, derartige Präparate anzufertigen. Zweifellos sind diese Methoden ein bedeutender Fortschritt. Ihre Nachteile bestehen in folgendem: Die erzeugten Farbschichten machen die betreffenden Körner selbst schwerer durchsichtig und für weitere optische Untersuchungen (z. B. Einregelung) verhindert brauchbar. Sie sind von recht unregelmäßiger Tiefe der Färbung und greifen sehr häufig wegen unvermeidlicher Bewegungen, die bei der Präparation auftreten, auch auf fremde Körner über; besonders, je feinkörniger das Material ist. Außerdem lässt sich — worauf bereits LEMBERG (l. c.) hinweist — nicht verhindern, daß sich die Farblösungen in alle Spaltrisse und Intergranularen hineinziehen, daß dort unerwünschte Reaktionen und Einfärbungen stattfinden. Schließlich ist ein äußerlicher Nachteil, daß man in einer Sammlung schon vorhandene Schliffe nicht gerne abdeckt und einer immerhin stets etwas gewagten Präparation aussetzt.

Die Methoden zur Unterscheidung des Kalkspates von den übrigen Karbonaten beruhen auf der höheren Löslichkeit des ersten gegenüber. Dabei tritt aber auch eine Abhängigkeit von der Korngröße zutage. Das vermindert den Wert der Unterscheidung bedeutend. Auch bei den der Theorie nach auf der Bildung von Adsorptionsverbindungen des Magnesiums beruhenden Färbe-

methoden (FRANCKSche Reaktion [6], mit Paranitrobenzol-4-azoresorzin; und mit Diphenylkarbazid [7]), die von H. LEITMEIER und F. FEIGL für mineralogische Zwecke — allerdings nicht für Schlitte, sondern für Pulver ausgearbeitet worden sind, zeigt sich diese Abhängigkeit von der Korngröße. Die genannten Autoren geben selbst in der zitierten Arbeit [6] an, daß sie am Pulver farbloser Kalzitkristalle aus Pribram eine Blaufärbung erhalten hätten. Leider ist keine unabhängige Prüfung auf Magnesium mit anderen Methoden an diesem Material durchgeführt worden. Ich habe an sehr fein gemahlenem isländischem Kalkspat mit dem gleichen Reagens ebenfalls Blaufärbung erhalten. Auch bei der Karbazidreaktion, durch welche Magnesit im Gegensatz zu Dolomit, sowie zu Kalkspat, Aragonit, Mesitinspat rotviolett angefärbt wird, zeigt sich der Einfluß der Korngröße: grobes Pulver des Binnentaler Dolomites zeigt, wie auch die Versuche von TH. HÜGI [8] neuerlich bestätigt haben, keine Färbung, pulverisiert man jedoch sehr fein, dann färbt sich das Material tief violett an. Diese Beobachtungen lassen es als zweifelhaft erscheinen, ob man bei Dünnschliffen von feinkörnigem Material Anfärbungen mit Sicherheit deuten kann. Auf die oben erwähnte Arbeit von HÜGI sei in diesem Zusammenhang noch besonders verwiesen. Man findet in ihr eine sorgfältige Überprüfung einer größeren Anzahl von Färbemethoden an charakteristischen Karbonatgesteinsvorkommen und ein sehr ausführliches Literaturverzeichnis.

## 2. Schwere Flüssigkeiten.

Eine Trennung der Karbonate nach ihrem spezifischen Gewicht ist natürlich nur an Pulvern möglich. Sie kann daher bei der Untersuchung von Gesteinen nur in sehr beschränktem Ausmaße verwendet werden; etwa um festzustellen, ob in einem Kalkstein überhaupt noch andere Karbonate außer Kalzit vorkommen und wenn dies der Fall ist, in welcher Menge. Die ausgesonderten Körner müssen dann noch weiter optisch untersucht werden. Auf zwei besondere Schwierigkeiten möge dabei hingewiesen werden. Um Splitter von möglichst einheitlichem Material zu haben, muß man meist ziemlich feines Pulver herstellen. Dieses aber ballt sich wegen der schlechten Benetzbarkeit in Bromoform-Alkoholgemischen leicht zu dichten Wolken zusammen, aus denen die schwereren Anteile nicht untersinken. In CLERICIScher Lösung ballen sich solche Pulver zwar weniger zusammen, sie wirkt jedoch in erheblichem Maße lösend auf die Körner ein. (Übrigens ist, wie aus den Zahlenwerten der Tabelle 1 Spalte 2 hervorgeht, die Unterscheidung nach *D* allein auch nicht eindeutig.)

Tabelle 1. Bestimmungswerte trigonalaler Karbonate.

Nr.	Mineral	<i>D</i>	$\omega$	$\epsilon$	$\epsilon_r$	$\epsilon - \omega$	<i>r</i>	$\varrho_0$
1	Kalkspat . . .	2,72	1,658	1,486	1,566	0,172	74° 55'	55°
2	Dolomit . . .	2,87	1,682	1,503	1,589	0,179	73° 43'	62°
3	Ankerit . . .	3,1	1,698	1,512	1,601	0,186	73° 50'	67,5°
4	Magnesit . . .	3,0	1,717	1,515	1,613	0,202	72° 36'	69°
5	Breunnerit . .	3,1	1,725	1,532	1,628	0,193	73° 48'	80°
6	Manganspat . .	3,7	1,817	1,594	1,702	0,223	73° 0'	—
7	Zinkspat . . .	4,5	1,849	1,621	1,733	0,228	72° 20'	—
8	Eisenspat . . .	3,9	1,873	1,632	1,747	0,241	73° 0'	—

*D* spezifisches Gewicht,  $\omega$  ordentlicher,  $\epsilon$  außerordentlicher Brechungsquotient,  $\epsilon_r$  außerordentlicher Brechungsquotient des Spaltrhomboeders,  $\epsilon - \omega$  Hauptdoppelbrechung, *r* Rhomboederwinkel,  $\varrho_0$  Gleichheitswinkel.

### 3. Doppelbrechung.

In der Tabelle 1 sind in der 6. Spalte die Zahlenwerte für die Hauptdoppelbrechungen der wichtigsten Glieder der Karbonatreihe aufgeführt. Es ist dazu zunächst zu bemerken, daß diese Werte exakt nur für Kalkspat angebar sind, sofern man solche von allgemeiner Geltung zu haben wünscht. Schon die Dolomite und noch viel mehr die anderen Glieder geben je nach Fundpunkt bzw. chemischer Zusammensetzung verschiedene Werte. Die hier gebotenen Werte sind größtenteils dem Handbuch von C. HINTZE [9] entnommen. Es kommt für die Zwecke dieser Darstellung auch nicht so sehr auf die Auswahl bestimmter Typen, als auf die allgemeine Methodik an. Um an einem Korn beliebiger Lage die Hauptdoppelbrechung bestimmen zu können, benötigt man drei Angaben: 1. Neigung der optischen Achse gegen die Schliffnormale (es ist hier an Dünnschliffpräparate gedacht) =  $\varphi \rho$ ; 2. den Gangunterschied; 3. die Korndicke. Den Winkel  $\rho$  kann man in guter Annäherung mit einer vom Verfasser angegebenen konskopischen Methode im gewöhnlichen Mikroskop [11] oder genauer mit Hilfe des Drehkonoskops ermitteln [10]. Es lassen sich auch beide Verfahren miteinander verbinden: wenn die  $c$ -Achse so stark geneigt ist, daß sie mit dem Drehtisch mechanisch nicht mehr eingestellt werden kann (bei Neigungen über  $30^\circ$ ), vermag man ihre Lage mit Hilfe der Balkenverschiebung festzustellen. Man neigt dann so weit, bis die Bewegung des schwarzen Balkens klein ist gegenüber der Horizontaldrehung des Objekttisches; man befindet sich dann in demjenigen Bereich der Bestimmungskurve, in dem die Genauigkeit groß ist. Die optische Normale läßt sich konoskopisch schlecht einstellen. Mit dem Kompensator von A. EHRINGHAUS [12], welcher bis zur 120. Ordnung reicht, bestimmt man ferner den Gangunterschied des Kernes. Bei sehr hohen Gangunterschieden (Farben höherer Ordnungen) tritt kein deutlicher Dunkelstreifen, der die Kompensationsstelle bezeichnen würde, auf. Man erkennt den Kompensationsstreifen, wie EHRINGHAUS (l. c. S. 103f.) näher ausführt, daran, daß hier abnorme Farben erscheinen. Ferner ist ein sicheres Zeichen die Umkehr der Farbreihenfolge. Vom „Leukozyklitstreifen“ folgen nach beiden Seiten hin symmetrisch die gleichen Farbstreifen. Hat man einen derartigen Kompensator nicht zur Verfügung, so kann man sich leicht dadurch helfen, daß man auf den Kondensor über dem Polarisator — etwa zwischen Kollektor- und Kondensorlinse — Gipsblättchen vom Rot der 4., 8. und 12. Ordnung, die man sich leicht selbst herstellen und eichen kann, einschiebt und dann nur die Differenz positiv oder negativ mit dem Kompensator bestimmt. Als dritte Größe braucht man nun noch die Schliffdicke. Diese kann man sich in günstigen Fällen durch Ausmessung der Dicke von benachbarten Quarzkörnern beschaffen (vgl. [10] S. 130). Enthält das Gestein keinen Quarz, so muß man sich mit der Übereinstimmung mehrerer Körner helfen unter der Annahme, daß bei allen das gleiche Karbonat vorliegt: aus der Gleichung:  $d = \frac{\Gamma'}{\varepsilon' - \omega}$  ( $d$  = Schliffdicke,  $\Gamma'$  = gemessener Gangunterschied,  $\varepsilon' - \omega$  = die auf Grund des Winkels  $\rho$  aus einer Kurve (siehe hierzu auch die Kurven in [13] S. 361) entnommene Doppelbrechung des fraglichen Schnittes) läßt sich  $d$  berechnen. Es muß sich bei richtiger Wahl der Kurve für mehrere benachbarte Körner als gleich ergeben. Hat man die richtige Kurve gewählt, so ist damit das Mineral festgestellt.

Dies Verfahren ist grundsätzlich für Körner jeder Lage, die  $\varrho$  zu messen gestatten, geeignet. Die Genauigkeit der zugrunde liegenden Messungen (von  $\Gamma$ ,  $\varrho$  und eventuell von  $d$ ) reicht jedoch nur aus, um extrem verschiedene Karbonate, z. B. Kalkspat und Breunnerit, voneinander zu trennen und auch dann nur, wenn  $\varrho$  groß ist ( $> 60^\circ$ ). Bei einer Neigung von  $60^\circ$  und einer Schliffdicke von 0,02 mm beträgt  $\Gamma$  für Kalkspat 2720  $\mu\mu$ , für Dolomit 2800  $\mu\mu$ , für Magnesit 3160  $\mu\mu$ . Die ersten beiden Größen sind mit den derzeitigen experimentellen Mitteln nicht auseinanderzuhalten; der dritte Wert ist vom ersten bei sorgfältiger Einstellung unterscheidbar. Es besteht die Hoffnung, daß mit der fortschreitenden Verfeinerung unseres Instrumentariums einmal auch die Trennung von Kalkspat und Dolomit auf diesem Wege möglich sein wird.

In Schnitten senkrecht zur  $c$ -Achse ist eine Bestimmung auf die eben beschriebene Weise schon rein theoretisch unmöglich. Gerade dann aber ist prinzipiell ein Verfahren gangbar, das L. H. BORGSTRÖM [14] ausgearbeitet hat. Es wird dabei der Öffnungswinkel  $v$  des innersten Ringes des konoskopischen Bildes (mit einem nach MALLARD geeichten Mikrometerokular oder mit dem Drehkonoskop) gemessen und darauf unter Annahme von  $\omega$  (ungefähr) nach der Näherungsformel  $\varepsilon - \omega = \frac{\Gamma}{d \cdot \sin v \cdot \tan v}$  die Hauptdoppelbrechung berechnet. Den Gangunterschied entnimmt man auf Grund des gemessenen  $v$  und des angenommenen  $\omega$  einer der Arbeit von BORGSTRÖM beigegebenen Tabelle. Nach Division durch die Dicke ( $d$ ) ergibt sich die maximale Doppelbrechung ( $\varepsilon - \omega$ ). Wie der Verfasser selbst angibt (l. c. S. 1 und 9), ist die Methode hauptsächlich zur Bestimmung senkrecht zu  $c$  teilbarer Minerale (Apatit, Beryll, Biotit, Skapolith usw.) in Lockerprodukten gedacht. Zur Unterscheidung von Kalkspat und Dolomit in Dünnschliffen, in denen an sich die Schnitte senkrecht zu  $c$  gut aufzufinden sind, reicht nach meinen Erfahrungen die Genauigkeit nicht aus, namentlich, weil es keine ausreichende Dickenbestimmung gibt. Besser kann man umgekehrt bei Kenntnis der Karbonatart dies Verfahren zur Ermittlung der Dünnschliffdicke verwenden; bei unserem sehr fühlbaren Mangel an Meßmethoden hierfür zweifellos eine äußerst erwünschte Bereicherung!

#### 4. Dispersion der Doppelbrechung.

Wie man die Dispersion der Doppelbrechung von Mineralkörnern in Dünnschliffen mit einfachen Mitteln (Lichtfilter und Kompensator) messen kann, hat bereits F. BECKE ([15] S. 62f.) gezeigt. Die Unterschiede, welche die einzelnen Glieder der Karbonatreihe in bezug auf diese Größe zeigen, sind zum Teil recht erheblich. Als Beispiel sei angeführt, daß die Differenz zwischen den Werten der Doppelbrechung gemessen im Licht der  $F$ - [ $= H_\beta^-$ ; ( $\lambda = 0,486 \mu$ )] und der  $C$ -Linie [ $= H_\alpha^-$ ; ( $\lambda = 0,656 \mu$ )] nach der neuesten Zusammenstellung von A. N. WINCHELL und WARD B. MEEK [16] bei Kalkspat 0,00726 beträgt, bei Dolomit 0,00691, bei Magnesit um 0,0084, während bei den Fe-, Mn-, Zn-Karbonaten sehr viel kleinere Werte (um 0,001 herum) auftreten. Auch hier handelt es sich natürlich um die maximalen Werte. Man ist damit also wieder von der Lage- und Dickenbestimmung abhängig, und es erscheint demgemäß derzeit nicht sehr aussichtsreich, auf diese Größen eine mikroskopische Bestimmungsmethode gründen zu wollen. Würde dies auf irgendeine Weise dennoch gelingen, so wäre das eine

sehr wertvolle Ergänzung, weil ja, wie auch WINCHELL (l. c.) ausführt, eine bestimmte chemische Komponente nicht gleichartig auf Doppelbrechung und Dispersion wirken muß.

### 5. Lichtbrechung.

a) *In Lockerprodukten.* Handelt es sich um die optische Bestimmung von Karbonaten in natürlichen oder künstlichen Lockerprodukten, dann ist der sicherste Weg die Einbettung in hochlichtbrechende Flüssigkeiten unter dem Mikroskop. Besonders bequem ist die Anwendung von  $\alpha$ -Monobromnaphthalin. Sein Brechungsquotient (1,660) ist fast genau gleich  $\omega$  des Kalkspates (1,658). Man kann daher durch Einstellen des Haupt schnittes senkrecht zu der Schwingungsebene des Polarisators — was konoskopisch sehr rasch und genau geschehen kann — für jedes Kalkspatkorn Brechungsquotientengleichheit erreichen (farbige Säume im polychromatischen Licht). Da Methylenjodid teuer und leicht zerstörend ist, kann man für die übrigen Karbonate nicht gut in gleicher Weise vorgehen. C. W. CORRENS hat daher vorgeschlagen, Gemische (z. B. aus  $\alpha$ -Monobromnaphthalin und Xylol) herzustellen, welche mit den außerordentlichen Brechungsquotienten der Rhomboederspaltblättchen übereinstimmen. In der Zeile 4 der Tabelle 1 finden sich diese Werte unter der Bezeichnung  $\varepsilon_r$ , berechnet nach der Formel:  $\varepsilon_r = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sin \varrho}{\epsilon}\right)^2 + \left(\frac{\cos \varrho}{\omega}\right)^2}}$  (vgl. [10], S. 129)<sup>1</sup>. Vermutet man

Dolomit in dem Gemenge, so kann man das leicht überall erhältliche Bromoform ( $n = 1,590$ ) benutzen. Spaltblättchen, deren  $\varepsilon_r$  wesentlich darunter liegt, sind Kalkspat, solche für die es annähernd gleich ist, sind Dolomit, solche, für welche es höher liegt, Magnesit oder eines der höheren Glieder.  $\varepsilon_r$  des Kalkspates ist annähernd gleich dem  $n$  des Anisöls (1,564). Natürlich setzt dies Verfahren voraus, daß die Spaltblättchen planparallel sind und auf dem Objekträger gerade aufliegen, was bei der Einstellung auf  $\omega$  nicht erforderlich ist.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit einen Fehler berichtigten, der sich in das Standardwerk der mikroskopischen Physiographie von ROSENBUSCH-MÜGGE eingeschlichen hat. (Bei der Besprechung des Dolomites heißt es dort [17], S. 228), daß der Dolomit in  $\alpha$ -Monobromnaphthalin farbige Bänder zeige, der Kalkspat nicht. Nur ein ganz bestimmtes  $\varepsilon'$  des Dolomit kann jedoch die Größe 1,660 haben. Es muß gerade umgekehrt heißen: Kalkspat zeigt farbige Ränder, der Dolomit nicht. Aber auch so ist, wie aus den obigen Ausführungen hervorgeht, der Satz noch durch den Hinweis einzuschränken, daß dies nur dann gilt, wenn  $\omega$  eingestellt ist, was für jedes Korn einzeln geschehen muß. (In der Originalarbeit von F. E. WRIGHT ([18], S. 76), auf welche die Stelle des Handbuches zurückgeht, ist das Verhältnis richtig dargestellt; nur der Umstand, daß nur diejenigen Kalkspatkörner farbig erscheinen, deren  $\omega$  gerade parallel der Schwingungsebene des Polarisators liegt und daß auch von den Dolomitkörnern einige nach  $\varepsilon'$  eingestellte dies tun können, ist nicht deutlich zum Ausdruck gebracht.)

b) *In Dünnschliffen.* Wie in vielen anderen Fällen eröffnet auch hier die Anwendung des Drehtisches eine neue Möglichkeit zur Lösung der gestellten Aufgabe. Wir benötigen für die hier wiedergegebene Methode ein Drehkonoskop,

<sup>1</sup> Vor kurzem hat I. S. LOUPEKINE [30] ein Verfahren angegeben, um auf graphischem Wege  $\varepsilon_r$  der rhomboedrischen Karbonate aus bekanntem  $\varepsilon$  und  $\omega$  zu bestimmen.

wie es in [11] beschrieben wurde. Seit der genannten Veröffentlichung ist eine wesentliche Verbesserung dadurch eingetreten, daß statt der Nicol'schen Prismen Polarisationsfilter eingeführt wurden, welche gestatten, die zur Verfügung stehende Apertur (Objektiv F 10 nach EHRINGHAUS) von 0,60 voll auszunutzen (konoskopischer Winkelbereich  $40^\circ$ ). Außerdem hat mir die Firma H. Winkel nach meinen Angaben einen neuen leistungsfähigen Zusatzkondensor gebaut. Das Grundprinzip der Methode ist folgendes: Die Änderung des außerordentlichen Brechungsquotienten  $\epsilon'$  von einem niedrigsten ( $\epsilon$ ) zu einem höchsten Wert ( $\omega$ ) geschieht stetig und nach einer einfach zu berechnenden elliptischen Beziehung (vgl. S. 386). Bei Kalkspat verläuft diese Veränderung von 1,486 ( $\epsilon$ ) bis 1,658 ( $\omega$ ).

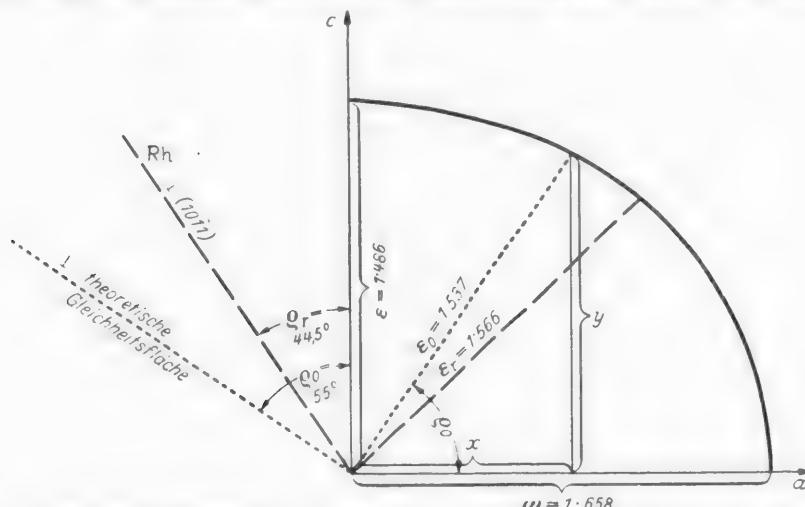


Abb. 1. Lichtbrechungsverhältnisse im Kalkspat.  $c$  Richtung der optischen Achse;  $a$  Richtung einer optischen Normalen;  $\omega$  ordentlicher,  $\epsilon$  außerordentlicher Brechungsquotient;  $Rh$  Lage der Flächennormale des Spaltrhomboeders;  $\epsilon_r$  außerordentlicher Brechungsquotient des Spaltrhomboeders;  $\theta_r$  zugehöriger Polwinkel;  $\theta_0$  Polwinkel der Gleichheitsfläche.

Abb. 1 zeigt diese Verhältnisse an einem vertikalen Haupt schnitt durch die Indikatrix. Es ist nur ein Quadrant der Ellipse gezeichnet;  $a$  und  $c$  bedeuten die Richtungen der kristallographischen Achsen. Jeder Punkt der Ellipse ist durch die Koordinaten  $x$  und  $y$  festgelegt.  $Rh$  bedeutet die Lage der Flächen normale des Spaltrhomboeders, dessen Polwinkel  $\theta_r$  beim Kalkspat  $44^\circ 36'$  beträgt.  $\epsilon_r$  gibt Richtung und Größe des außerordentlichen Brechungsquotienten für die Rhomboederfläche (1011) an. Für alle Glieder der Karbonatreihe ergeben sich ähnliche Bilder. Die Lage der  $\epsilon_r$  ist dabei nur unbedeutend verschieden, weil der Rhomboederwinkel ( $r$ ) nur um  $2-3^\circ$  schwankt (vgl. Tabelle 1, 7. Spalte).

Für eine bestimmte, kristallographisch grundsätzlich irrationale Flächenlage ist  $\epsilon' = 1,537 = \epsilon_0$  = Brechungsquotient des Kanadabalsams. Der Polwinkel  $\theta_0$  der zugehörigen Flächen normale beträgt bei Kalkspat rund  $55^\circ$ . Für alle Karbonate, deren  $\epsilon < \epsilon_0$  läßt sich ein derartiger Winkel berechnen. Da die Länge des Vektors  $\epsilon_0$  gleichbleiben soll, muß sich  $\theta_0$  mit der Änderung der Form und noch mehr mit derjenigen der Größe der Indikatrix ändern und zwar muß es mit wachsender Größe derselben stark zunehmen. Bei den in der Tabelle 1 angeführten Karbonaten unter Nr. 6, 7, 8 ist  $\epsilon > \epsilon_0$ .  $\theta_0$  hat daher keinen möglichen

Wert. Die  $\varrho_0$ -Werte der übrigen Karbonate kann man leicht aus den bekannten optischen Daten (Spalte 3, 4 und 7 der Tabelle 1) berechnen. Die Berechnung geschieht nach folgenden Formeln:

$$\sin \varrho_r = \frac{\sin r/2}{\sin 60} \quad (1) \quad \varepsilon_r \text{ s. S. 386.} \quad (2)$$

Eine Beziehung für  $\varrho_0$  läßt sich folgendermaßen ableiten: Die Mittelpunkts-Gleichung der Ellipse für  $\varepsilon$  und  $\omega$  lautet:

$$+ \varepsilon^2 x^2 + \omega^2 y^2 = + \varepsilon^2 \omega^2.$$

Man bringt die Ellipse mit dem Kreis für  $\varepsilon_0$  (isotropes Medium!) zum Schnitt, dessen Mittelpunkts-Gleichung lautet:

$$x^2 + y^2 = \varepsilon_0^2.$$

Setzt man hieraus  $x^2$  in die erste Gleichung ein, so erhält man:

$$+ \omega^2 y^2 - \varepsilon^2 y^2 = + \varepsilon^2 \omega^2 - \varepsilon^2 \varepsilon_0^2,$$

woraus

$$y^2 = \varepsilon^2 \cdot \frac{\omega^2 - \varepsilon_0^2}{\omega^2 - \varepsilon^2}$$

und wegen

$$\sin \varrho_0 = \frac{y}{\varepsilon_0} \text{ (s. Abb. 1)}$$

schließlich

$$\sin \varrho_0 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{(\omega + \varepsilon_0) \cdot (\omega - \varepsilon_0)}{(\omega + \varepsilon) \cdot (\omega - \varepsilon)}} \quad (3)$$

folgt.

Trotz des Wurzelausdruckes kommt stets nur eine Lösung in Frage, weil das Vorzeichen (= in welchem Quadranten die Neigung gezählt wird) keine Rolle spielt. Ordnet man, wie es in der Tabelle 1 geschehen ist, die Glieder der Karbonatreihe nach steigender Lichtbrechung, so sieht man, daß sich die  $\varrho_0$ -Werte immer um mehrere Grade voneinander unterscheiden. Der Dolomit liegt vom Kalkspat  $7^\circ$ , der Magnesit um  $14^\circ$ , eisenreiche Glieder um  $20^\circ$  und noch mehr entfernt. Ich habe mich an Schliffen typischer Vorkommen (Kalkspat Island; Dolomit Binnental; Magnesit Trieben usw.) überzeugt, daß die theoretisch abgeleiteten Winkel die erwarteten Werte als Mittel mehrerer Messungen größtenteils zeigen. Meist fallen sie etwas kleiner aus.

Die Bestimmung von  $\varrho_0$  läßt sich im Dünnenschliff folgendermaßen durchführen: man stellt das zu untersuchende Korn so ein, daß der Haupt schnitt von vorn nach hinten verläuft. (Die dunkle Barre im Konoskop, also parallel dem Vertikalfaden des Fadenkreuzes liegt, dem auch die Schwingungsrichtung des Polarisators parallel gestellt werden muß.) Nun dreht man zwischen gekreuzten Nikols bei eingeschalteter Amicilinse um die rechts-links gestellte *K*-Achse nach der homodromen Seite, bis das dunkle Kreuz [Schnitt senkrecht *c*] genau in der Mitte des Gesichtsfeldes steht und notiert diese Einstellung:  $\nearrow \zeta$ . Danach schaltet man Amicilinse und Analysator aus, zieht die Irisblende des Kondensators weitgehend zu, senkt diesen selbst stark, dreht um die Horizontalachse in die Ausgangsstellung zurück und dann über diese hinaus nach der entgegengesetzten Seite. Man wird dabei gewahr, daß das Chagrin des Kernes, das in der „Achsenpolstellung“ sehr stark war, immer undeutlicher wird und

schließlich ganz verschwindet, d. h. die Oberfläche des Kernes erscheint völlig glatt<sup>1</sup>. (Es soll daher die Oberfläche solcher Dünnenschliffe nicht feinpoliert werden. Spaltstücke sind aus dem gleichen Grunde für die Bestimmung schlecht geeignet.) Gleichzeitig kann man beobachten, wie die an kleinen Spaltrissen sichtbare BECKESche Lichtlinie immer breiter und lichtschwächer wird, sich beim Heben und Senken des Tubus immer rascher bewegt, schließlich ganz verschwindet oder sich in zwei Linien auflöst, von denen die eine in das Mineral, die andere in den Balsam wandert. Die Stellung, bei welcher Chagrin und Lichtlinie verschwinden, ist diejenige der Brechungsquotientengleichheit zwischen Kanadabalsam und  $\epsilon'$ . Die entsprechende Winkelablesung ( $\varphi \neq \vartheta$ ) wird notiert. Man findet diese Stellung am raschesten, wenn man den Tubus dauernd ein wenig auf und ab bewegt und gleichzeitig den Schliff langsam neigt. Eine gute Kontrolle besteht darin, daß man bis zu dem Punkte dreht, bei welchem das Chagrin noch gerade zu sehen ist bzw. die Lichtlinie beim Heben noch deutlich in das Mineralkorn hineinwandert, dann bis zu jenem Punkte, wo das Chagrin eben wieder sichtbar wird oder eine gleich intensive Lichtlinie wie vorher nach der anderen Seite (in den Balsam) geht und das Mittel zwischen beiden Einstellungen nimmt. Den zur Diagnose nötigen Winkel  $\varrho_0$  erhält man durch Addition von  $\vartheta$  und des nach SNELLIUS korrigierten  $\zeta$ . Als mittlerer Brechungsquotient kann  $\frac{\epsilon + \omega}{2}$  (für Kalkspat also 1,572) genommen werden.  $\zeta + \vartheta = \varrho_0$ .

Wählt man für die Messung Segmente mit  $n = \sim 1,54$ , wie sie den meisten Drehtischen für die Quarz- und Feldspatmessung beigegeben werden, so braucht man den Einstellungsinkel  $\vartheta$  bei keinem Karbonat zu korrigieren. Auch der durch die Doppelbrechung auftretende Fehler, der im allgemeinen bei Drehtischmessungen zu berücksichtigen ist, fällt hier fort, weil ja bei dieser Spezialeinstellung im ganzen Querschnitt nur eine Welle schwingt. Auch bei der Einstellung des Achsenpoles kommt dieser Fehler — wenigstens in erster Annäherung — nicht zur Geltung, weil man ja hier gerade die Richtung der Einfachbrechung verwendet. Die Korrektur nach dem Sinussatz muß jedoch hier ausgeführt werden. Es genügt dafür aber ein graphisches Verfahren (s. z. B. das Diagramm bei M. BEREK [19]). Der Winkelabstand zum Achsenpol kann, wie bereits S. 384 erwähnt wurde, stets gut ermittelt werden. Bei Mineralen mit geringer Doppelbrechung stellt man vorteilhafter die optische Normale ein („Äquatorstellung“ nach W. SCHMIDT [20]). Konoskopisch läßt sich diese selbst bei Mineralen mit hoher Doppelbrechung nicht genau einstellen. Manchmal kann man genötigt sein, Bestimmungen an Einzelkörnern vorzunehmen, z. B. in Streupräparaten von Schwermineralfraktionen, bei denen es sich nicht lohnen würde, die wenigen Exemplare zu isolieren. Sehr häufig sind dies Spaltblättchen, die nach der Rhomboederfläche aufliegen. Es ist dann  $\zeta$  stets größtenteils  $45^\circ$ , also für die Bestimmung sehr günstig. Die Lichtlinie ist desto besser einzustellen, je dünner das betreffende Korn ist. Man muß ferner darauf achten, daß der Strahlengang während der Drehung stets durch die gleiche Fläche verläuft; schräggestellte Begrenzungsfächen lassen das Achsenkreuz an anderer Stelle austreten! (Es möge noch vermerkt werden, daß das Auftreten farbiger Säume an der

<sup>1</sup> Das Verschwinden des Chagrins ist an seitlichen Teilen des Kernes, (also bei etwas schrägem Einblick) oft besser zu sehen als in der Korn- bzw. Gesichtsfeldmitte.

Umgrenzung solcher Körner kein verlässliches Kriterium für die Erreichung der Gleichheitsstellung ist.) Ist der Winkel  $\vartheta$  größer als  $40^\circ$ , dann wird die Einstellung unsicher. Man ist also von der Ausgangslage der Körner, wie übrigens bei allen Spezialmethoden, nicht unabhängig. Eine weitere Einschränkung liegt natürlich in der Grundvoraussetzung, daß die Körner ein konoskopisches Bild zu geben gestatten, was von ihrer Größe ( $\varnothing > 0,05 \text{ mm}$ ) und Form, sowie davon abhängt, daß nicht zu viel Fremdeinschlüsse, Trübungen oder Zwillingslamellen vorhanden sind. Die Einstellung wird auch desto ungenauer, je näher  $\varepsilon$  des betreffenden Karbonats an  $\varepsilon_0$  heranreicht, was aus dem flachen Kurvenverlauf um  $\varepsilon$  in der Abb. 1 ohne weiteres klar wird. Kollolith ( $n_D = 1,535$ ) ist daher ungünstiger als Kanadabalsam, obwohl sein Brechungsquotient angeblich

besser konstant ist. Ordnungsgemäß erhärteter Kanadabalsam weicht, wie ich mich mehrfach überzeugt habe, von dem von WÜLFING ([17] S. 14) angegebenen Mittel 1,537 nicht wesentlich ab. Die Werte schwanken zwischen 1,535 und 1,540. Inwieweit sich dies auf die Größe der Werte auswirkt, zeigt die nebenstehende kleine Tabelle 2. 3 Einheiten der 3. Dezimale verursachen eine Abweichung von etwa  $1^\circ$ .

Hier entsteht also kein größerer Fehler; zumal dann nicht, wenn alle Präparate immer in der gleichen Weise angefertigt werden. Es kommt ja bei dieser Methode nicht auf die Bestimmung absoluter Werte an, sondern auf die Feststellung von Unterschieden. Die Hauptunsicherheit besteht bei der Einstellung von  $\vartheta$ , für das mit einer Schwankung von  $\pm 2\text{--}5^\circ$  gerechnet werden muß. Bei den Differenzen, welche die  $\varrho_0$ -Werte der einzelnen Karbonate gegenüber Kalkspat haben, ist jedoch die gesuchte qualitative Unterscheidung immer noch möglich. Um auch bei Karbonaten mit höherem Brechungsquotienten eine Unterscheidung treffen zu können, müßte man andere Einbettungsmedien verwenden. A. E. ALEXANDER hat bereits vor 14 Jahren über Harze berichtet, welche Lichtbrechungen von 1,60, 1,61, 1,62, 1,63, 1,64, 1,65 besitzen [21]. Ich konnte diese Materialien bisher nicht probieren. Auch das „Aroclor“, auf das mich Herr TH. v. WOLFF freundlichst aufmerksam machte [22], [23], dessen Lichtbrechung 1,66 sehr konstant sein soll, habe ich bisher nicht erhalten können<sup>1</sup>. Ein Vorteil der Methode scheint mir darin zu liegen, daß sie an jedem der üblichen Dünn-schliffpräparate rasch und — abgesehen von der oben (S. 389) erwähnten Sinuskorrektur — ohne weitere Rechnung durchzuführen ist.

Zur *historischen Entwicklung* ist zu sagen, daß wohl als erster H. AMBRONN [24] den Versuch unternommen hat, die kontinuierliche Reihe von Brechungsquotienten zwischen  $\omega$  und  $\varepsilon$  bei den Karbonaten für Bestimmungszwecke auszunützen. Er drehte dabei die doppelbrechende Platte um die vertikale Achse über dem Polarisator. Es sind für die Berechnung von  $\omega$  und  $\varepsilon$  Beobachtungen mit mindestens zwei verschiedenen Einbettungsmedien nötig. Nach A. JOHANNSEN ([25], S. 253) ergeben sich Abweichungen bereits in der zweiten Dezimale. K. SPANGENBERG [26] hat dies Verfahren rechnerisch genauer gefaßt. Er kam zu befriedigender Übereinstimmung von Rechnung und Beobachtung. Da jedoch wie gesagt mindestens zwei verschiedene Einbettungsmedien verwendet werden

<sup>1</sup> Die Anwendung von Einbettungsmedien mit höherer Lichtbrechung würde (aus dem S. 390 Zeile 8 von oben angeführten Grunde) auch die Genauigkeit erhöhen.

Tabelle 2.

$\varepsilon_0$	$\vartheta_0$
1,540	53° 42'
1,537	54° 50'
1,535	55° 35'

müssen, kommt das Verfahren für Dünnschliffe nicht in Betracht (vgl. auch das Referat in [17] S. 549). Auf viel einfache Art glaubte A. PAULY vorgehen zu können. Er wollte umgekehrt die Lichtbrechung von Flüssigkeiten mit Hilfe von Kalkspatpräparaten bestimmen [27]. Danach wäre jedes Kalkspat-Spaltschliff auf einem drehbaren Objektivtisch über einem Polarisator als Refraktometer benutzbar. Der Winkel zwischen den beiden symmetrisch zum Hauptschnitt gelegenen Stellungen der Brechungsquotientengleichheit, auf den es hier ankommt, ist jedoch nur unsicher einzustellen. A. JOHANNSEN ([25], S. 266f.) fand dafür nur eine Genauigkeit von drei Einheiten der zweiten Dezimale. Neuerdings haben E. COLES PHILLIPS und W. A. WOOSTER [26] die Unsicherheit dieser Methode bestätigt und auf einen grundlegenden Irrtum PAULYS hingewiesen: die vom unteren Nikol kommende Welle schwingt in der Kalkspatplatte nicht nur in einer ganz bestimmten Richtung, sondern wird in zwei Anteile zerlegt. Der Brechungsquotient  $\epsilon'$  muß als deren Resultierende berechnet werden und nicht einfach nach der Formel S. 386. Auf dem Prinzip, das hier angegeben wurde (horizontale Drehachse, Schwingungsrichtung parallel dem unteren Nikol), beruht ein Refraktometer, das in neuerer Zeit in der angelsächsischen Literatur beschrieben wurde. Die zu messende Flüssigkeit kommt in die Durchbohrung einer Smithonitplatte, deren Drehung an einem Limbus abgelesen wird. Leider war es mir bisher nicht möglich, das betreffende Zitat zu erkunden.

Die rhombischen Karbonate kommen gelegentlich als Bestandteile von Sedimenten vor, wenn auch ihr mengenmäßiges Auftreten im Vergleich mit den rhomboedrischen Karbonaten nur als „spurenhaft“ bezeichnet werden kann. Über ihre für unsere Zwecke wichtigen optischen Konstanten gibt Tabelle 3 (nach E. S. LARSEN [29], S. 228) Auskunft. In Schnittlagen, welche gestatten, die spitze Bisektrix hereinzuwenden, kann man den Achsenwinkel messen und so 1 oder 4 gegenüber 2 oder 3 unterscheiden. Eine Unterscheidung von 2 gegen 3 oder gar von 1 gegen 4 ist nur bei sehr sorgfältiger Messung mit dem Drehkonoskop möglich. Weil für 1—3  $\alpha$  kleiner ist als 1,537 kann man hier auch wieder ein  $\varrho_0$  einstellen und so weitere Schnittlagen ausnutzen. Es wird dabei in Analogie zur Beobachtungsweise bei den einachsigen Karbonaten hier die Achsenebene von vorn nach hinten eingestellt. So ist dann 1 gegen 2 oder 3 und gegen 4 unterscheidbar. Liegt der Schnitt näher der stumpfen Bisektrix  $\gamma$ , dann kann man von dieser ausgehend den Winkel  $90 - \varrho_0$  verwenden. Günstiger als Kanadabalsam wäre hier ein Einbettungsmittel vom Brechungsquotienten etwa 1,60. Der Anwendungsbereich der Methodik ist bei den zweiachsigen sehr viel kleiner wegen der Beschränkung auf die Zone  $\perp \beta$ , es ist jedoch zu bedenken, daß wir auch für die mikroskopische Unterscheidung dieser Mineralgruppe im Dünnschliff sonst ausschließlich auf die Messung des Achsenwinkels angewiesen sind.

Tabelle 3. *Mikroskopische Bestimmungswerte rhombischer Karbonate.*

Nr.	Mineral	$\alpha$	$\gamma$	$2V_\alpha$	$\varrho_0$	$90 - \varrho_0$
1	Strontianit . .	1,520	1,667	7°	47°	43°
2	Witherit . .	1,529	1,677	16°	73°	17°
3	Aragonit . .	1,530	1,685	18°	74°	16°
4	Cerussit . .	1,804	2,078	8°	—	—

$2V_\alpha$  Winkel der optischen Achsen,  $\varrho_0$  Gleichheitswinkel,  $\alpha$  kleinster,  $\gamma$  größter Brechungsquotient.

Von anderen Mineralien kämen noch Glieder der Skapolith-, Glimmer- und Chloritgruppe, Cordierit, Oligoklas usw. in Betracht. Indessen ist das Verschwinden des Chagrin bei Mineralen mit geringer Doppelbrechung wegen des kleinen Spielraumes der Änderung ein zu allmähliches, um winkelmäßig genauer festgelegt werden zu können.

#### *Zusammenfassung.*

Um die petrographisch wichtigen Karbonate: Kalkspat, Dolomit, Ankerit, Siderit usw. voneinander im Dünnschliff zu trennen, hat man seit langem Färbe-methoden verwendet. Besonders hat sich die Färbung des Kalkspates auf Grund der Aluminiumchloridreaktion von LEMBERG und die Färbung der eisenhaltigen Karbonate durch Oxydation nach HALLIMOND und SUTCLIFFE bewährt. Die verschiedenen Magnesiumreaktionen sind für die Dünnschliffbeobachtung noch nicht ausgearbeitet und erweisen sich (wie auch die LEMBERGSchen Reaktionen) von der Korngröße abhängig. Durch Messung der Neigung der  $c$ -Achse und des Gangunterschiedes mehrerer gleichartiger Körner läßt sich ebenfalls grundsätzlich feststellen, um welches Karbonat es sich handelt. Praktisch entstehen dadurch Schwierigkeiten, daß nur Körner verwendbar sind, bei welchen  $c$  eine sehr große Neigung hat ( $> 60^\circ$ ) und daß die maximale Doppelbrechung der Karbonate teilweise nicht sehr verschieden ist. Durch das Ausmessen der Interferenzringe im Schnitt  $\perp c$  bei einachsigen Kristallen gelang es BORGSTRÖM, mit Hilfe einer Näherungsformel die Hauptdoppelbrechung der betreffenden Substanz zu bestimmen. Für Dünnschliffe wird das Verfahren dadurch ungenau, daß dafür die Kenntnis der Schliffdicke notwendig ist, wofür es leider noch keine scharfe Methode gibt. Bei Kenntnis des Karbonates erweist es sich aber umgekehrt zur Bestimmung der Schliffdicke als wertvoll. Die Messung der Dispersion der Doppelbrechung scheint bei dem derzeitigen instrumentellen Stand unserer mikroskopischen Einrichtungen für die petrographische Bestimmung der Karbonate nicht verwertbar zu sein. In Lockerprodukten lassen sich die Karbonate sehr genau auf Grund ihrer Lichtbrechung — bestimmbar mit Hilfe der Immersionsmethode — trennen. Kalkspatkörper sind sofort kenntlich an der Übereinstimmung ihres  $\omega$ -Wertes mit  $\alpha$ -Monobromnaphthalin. Es werden für weitere Einbettungsbestimmungen die  $\epsilon'$ -Werte der Spaltblättchen der einzelnen Glieder der Karbonatreihe aufgeführt. In Dünnschliffen kann der Umstand benutzt werden, daß durch Neigen des Präparates auf einem Drehtisch jene Stellung gefunden werden kann, bei welcher ein  $\epsilon'$  mit dem Brechungsquotienten des Kanadabalsams (1,537) übereinstimmt. (Nur bei Karbonaten möglich, deren  $\epsilon$  kleiner als 1,537 ist.) Der Winkel gegen die  $c$ -Achse ( $\varrho_0$ ) ist ein für die verschiedenen Glieder der Karbonatgruppe typischer. Die Übereinstimmung mit dem Balsam erkennt man am Verschwinden des Chagrin und der BECKESchen Linie.  $c$  läßt sich gut mit dem Drehkonoskop einmessen. Die Einstellung der Brechungsquotientengleichheit ist dagegen ziemlich ungenau. Sie schwankt um mehrere Grade. Da die verschiedenen  $\varrho_0$ -Werte der einzelnen Glieder der Karbonatreihe sich von demjenigen des Kalkspates jedoch um 7, 13, 24 und mehr Grade unterscheiden, läßt sich aus dem Mittel mehrerer Messungen doch annährend sagen, um welches Glied es sich handelt. Die Methode ließe sich erweitern durch Einführung von Einbettungsmedien höherer Lichtbrechung. Auch auf die rhombi-

schen Karbonate lässt sich das Verfahren anwenden. In Schnitten senkrecht zur Achsenebene kann ein  $\varrho_0$ -Wert bestimmt werden. Dadurch ergibt sich auch bei diesen Mineralien, für welche bisher im Dünnschliff nur die Messung des Achsenwinkels eine Bestimmung ermöglichte, ein weiteres diagnostisches Merkmal.

### Literatur.

- [1] BECKE, F.: Unterscheidung von Quarz und Feldspat in Dünnschliffen mittels Färbung. *Tscherm. mineral. petrogr. Mitt.* Bd. 10 (1889) S. 90. — [2] BECKE, F.: Unterscheidung von Quarz und Feldspat mittels Färbung. *Tscherm. mineral. petrogr. Mitt.* Bd. 12 (1891) S. 257. — [3] HALLIMOND, A. F. and F. SUTCLIFFE: Iron ores of Great Britain, Petrography a. Chemistry. Mem. Geol. Survey. Special Reports. 1925. — [4] LEMBERG, I.: Zur mikroskopischen Untersuchung von Kalzit, Dolomit und Predazzit. *Z. dtsch. geol. Ges.* Bd. 40 (1888) S. 357. — [5] LEMBERG, I.: Zur mikroskopischen Untersuchung einiger Minerale. *Z. dtsch. geol. Ges.* Bd. 42 (1890) S. 737; Bd. 44 (1892) S. 224. — [6] LEITMEIER, H. u. F. FEIGL: Der Nachweis von Magnesium in Mineralien. *Tscherm. mineral. petrogr. Mitt.* Bd. 40 (1929) S. 325. — [7] LEITMEIER, H. u. F. FEIGL: Eine Reaktion zur Unterscheidung von Dolomit und Magnesit. *Zbl. Mineral., Geol., Paläont. Abt. A* (1928) S. 74. — [8] HÜGI, TH.: Gesteinsbildend wichtige Karbonate und deren Nachweis mittels Färbemethoden. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* Bd. 25 (1945) S. 114. — [9] HINTZE, C.: Han. buch d. r. Mineralogie. Berlin-Leipzig: Walter de Gruyter. — [10] SCHUMANN, H.: Optische Bestimmung der räumlichen Orientierung einachsiger Minerale ohne Drehtisch. *Neues Jb. Mineral., Geol., Paläont., Abt. A* Bd. 75 (1939) S. 110. — [11] SCHUMANN, H.: Über den Anwendungsbereich der konoskopischen Methodik. *Fortschr. Mineral., Kristallogr. Petrogr.* Bd. 25 (1941) S. 217. — [12] EHRINGHAUS, A.: Drehkompassatoren mit besonders großem Meßbereich. *Z. Kristallogr., Mineral. Petrogr., Abt. A* Bd. 102 (1939) S. 85. — [13] SCHUMANN, H.: Bestimmung der maximalen Doppelbrechung einachsiger Minerale in schießen Schnitten. *Chem. d. Erde* Bd. 13 (1940) S. 353. — [14] BORGSTRÖM, L. H.: Die Bestimmung der Doppelbrechung von Mineralen im konvergenten Licht. *Soc. Sci. fenn. Comm. Phys.-Math.* VIII, Bd. 18 (1935) S. 1. — [15] BECKE, F.: Optische Untersuchungsmethoden. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien, Math.-nat. Kl.* Bd. 75 (1913). — [16] WINCHELL, A. N. and WARD B. MEEK: Birefringence-dispersion ratio as diagnostic. *Amer. Mineralogist* Bd. 32 (1947) S. 336. — [17] ROSENBUSCH, H., E. A. WÜLFING u. O. MÜGGE: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, 5. Aufl., Bd. I, 1 u. 2. Stuttgart: E. Schweizerbart 1927. — [18] WRIGHT, F. E.: Oblique Illumination in Petrographic Microscope Work. *Amer. J. Sci.* Bd. 185 (1913) S. 63. — [19] BEREK, M.: Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. Berlin: Gebrüder Bornträger 1924. — [20] SCHMIDT, W.: Gefügestatistik. *Z. Kristallogr., Mineral. Petrogr., Abt. B* Bd. 38 (1925) S. 392. — [21] ALEXANDER, A. E.: Recent developments in high resins. *Amer. Mineralogist* Bd. 19 (1934) S. 385. — [22] KELLER, W. D.: A Mounting medium of 1,66 Index of refraction. *Amer. Mineralogist* Bd. 19 (1934) S. 384. — [23] KAISER, C. P. and H. T. U. SMITH: A high-index medium for rapid impregnation of friable materials. *Amer. Mineralogist* Bd. 27 (1942) S. 590. — [24] AMBRONN, H.: Über eine neue Methode zur Bestimmung der Brechungs-exponenten anisotroper mikroskopischer Objekte. *Ber. Verh. Ges. Wiss. Leipzig, math.-physische Kl. III*, Bd. 45 (1903) S. 316. — [25] JOHANNSEN, A.: Manual of petrographic Methods. New York and London 1918. — [26] SPANGENBERG, K.: Einige Anwendungen und Erweiterungen der Einbettungsmethode. *Zbl. Mineral., Geol., Paläont.* (1920) S. 352, 406. — [27] PAULY, A.: Über eine einfache Methode zur Bestimmung des Brechungsexponenten von Flüssigkeiten. *Z. wiss. Mikroskop. Ed.* 21 (1905) S. 344. — [28] COLES PHILLIPS, F. and W. A. WOOSTER: On the "Pauly method" of determining the refractive indices of liquids. *Z. Kristallogr., Mineral. Petrogr.* Bd. 84 (1933) S. 318. — [29] LARSEN, E. S. and H. BERMAN: The microscopic determination of the nonopaque Minerals. sec. ed. U.S. Dep. Inter. Geol. Surv. Bull. 848. Washington 1934. — [30] LOUPEKINE, I. S.: Graphical derivation of refractive index  $\epsilon$  for the trigonal carbonates. *Amer. Mineralogist* Bd. 32 (1947) S. 502.

## Rechenschema für Patterson-Analysen\*.

Von

WERNER BORCHERT, Heidelberg.

(Eingegangen am 7. Mai 1948.)

Die Bestimmung von Kristallstrukturen knüpft sehr häufig an eine zweidimensionale Projektion der PATTERTON-Analyse an, da auf diesem Wege eine Möglichkeit gegeben ist, direkt aus röntgenographisch gewonnenen Daten zu mindest interatomare Gitterabstände zu bestimmen [1]. Etwas abschreckend wirkt bei diesem Verfahren zumeist die umfangreiche Rechenarbeit. Zur Schematisierung von PATTERTON- bzw. FOURIER-Analysen sind deshalb verschiedene Auswertungs- und Rechenverfahren vorgeschlagen worden [2], [3], [4]. Wenn hier nun ein weiteres Rechenschema angegeben wird, so war hierfür die Überlegung maßgebend, bei der Zusammenfassung der Einzelsummanden in der Endrechnung eine Koppelung von gleichzeitiger Addition, Multiplikation und zusätzlichem Nachschlagen in umfangreichen Tabellen zu vermeiden.

### A. Vereinfachung der Durchrechnung.

Die Vereinfachungen bei der Berechnung der Abstandsfunktion

$$\varphi_{uv} = \sum_{hk} S_{hk}^2 \cdot \cos 2\pi \left( \frac{u}{a} h + \frac{v}{b} k \right) \quad (1)$$

ergeben sich im wesentlichen aus der Periodizität der cos-Funktion und einer übersichtlichen Anordnung der Rechenwerte in Verbindung mit einem einfachen Leitschema. Die Gl. (1) wird durch Einführung einer Koordinatenunterteilung in  $T$ -Abschnitte umgeformt.

$$\varphi_{mn} = \sum_{hk} S_{hk}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} (m h + n k) \quad m, n = 0, 1, 2, 3, \dots, T. \quad (2)$$

Hiernach werden die Funktionswerte für ganzzahlige Koordinaten bestimmt. Die Periode  $2\pi$  der cos-Funktion lässt die Einführung folgender reduzierter Werte zu:

$$\overline{mh} = mh - \mu T, \quad \overline{nk} = nk - \nu T \quad \mu, \nu = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots; \quad (3)$$

hierbei gelten die negativen  $\mu$ - und  $\nu$ -Werte für negative  $h$  und  $k$ . Bei der Berechnung der reduzierten Werte werden  $\mu$  und  $\nu$  so gewählt, daß

$$|\overline{mh}| \leq T/2 \quad \text{und} \quad |\overline{nk}| \leq T/2 \quad \text{und somit} \quad |\overline{mh} + \overline{nk}| \leq T \quad (4)$$

wird.

\* Auszug aus der gleichbetitelten Arbeit in der unveröffentlichten Festschrift zum 70jährigen Geburtstag von Herrn Professor Dr. O. H. ERDMANNSDÖRFFER.

Reduktionsbeispiele ( $T = 24$ ):

1.  $h = 8, m = 7,$   
 $m h = 56, \overline{m h} = 56 - 48 = 8;$
2.  $h = 2, m = 10,$   
 $m h = 20, \overline{m h} = 20 - 24 = -4;$
3.  $h = 9, m = 4,$   
 $m h = 36, \overline{m h} = 36 - 24 = 12,$   
 bzw.  $\overline{m h} = 36 - 48 = -12.$

Im Beispiel 3 ist wegen

$$\cos 2\pi \frac{1}{T} \left( \frac{T}{2} + n k \right) = \cos 2\pi \frac{1}{T} \left( -\frac{T}{2} + n k \right) \quad (5)$$

das Vorzeichen belanglos.

Ordnet man, wie in Tabelle 1, die reduzierten Werte in Abhängigkeit von steigenden  $m$ -Werten an, so bedingt die Periodizität der cos-Funktion mehrfache „symmetrische“ Wertwiederholungen zum Teil unter Vorzeichenwechsel. Einige

Tabelle 1.  $h = 3, T = 24.$

$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m h$	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
$\overline{m h}$	0	3	6	9	12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12
$m$	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	
$m h$	72	69	66	63	60	57	54	51	48	45	42	39	
$\overline{m h}$	0	-3	-6	-9	12	9	6	3	0	-3	-6	-9	

diesbezügliche Hinweise, die einerseits dazu dienen können, die Anzahl der unbedingt zu berechnenden reduzierten Werte zu verringern, oder andererseits für Rechenkontrollen verwendet werden können, mögen im folgenden angeführt sein.

$$\overline{m h} = -(\overline{T-m}) h \quad \text{oder} \quad \left( \frac{T}{2} - \mu \right) h = -\left( \frac{T}{2} + \mu \right) h \quad \mu = 0, 1, 2 \dots \quad (6)$$

Die reduzierten Werte liegen hiernach alle mit Vorzeichenwechsel symmetrisch zu  $m = T/2$ . Diese Eigenschaft ist bei der Aufstellung der Tabelle 1 in der Weise berücksichtigt, daß die Werte aus dem Bereich  $m = 13-24$  entsprechend der Beziehung (6) in rückläufiger Abzählung unter die zugehörigen Werte aus dem Bereich von  $m = 0-11$  gestellt sind.

Nehmen die reduzierten  $\overline{m h}$  an der Stelle  $m$  den Wert 0 oder  $T/2$  an, dann gilt in Verallgemeinerung von (6)

$$\overline{(m-\mu) h} = -\overline{(m+\mu) h}; \quad (7)$$

ist  $\overline{m h} = T/4$ , ergibt sich

$$|(m-\mu) h + (m+\mu) h| = T/2 \quad (8)$$

Die Tabelle 1 enthält solche „Symmetriestellen“ bei:

$$m = 2, 6, 10, 14, 18, 22, \text{ vgl. (8),}$$

$$m = 4, 8, 12, 16, 20, 24 (0), \text{ vgl. (7) und (6).}$$

In Tabelle 2 sind für  $T = 24$  die  $\overline{mh}$ -Werte in Abhängigkeit von  $h$  und  $m$  zusammengestellt. Die fettgedruckten Zahlen im Tabellenhauptteil bedeuten einen negativen Zahlenwert. Bei einer Tabellenaufstellung vermerkt man diese

Tabelle 2.  $\overline{mh}$ -Werte für  $T = 24$ .

$h \backslash m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$h$	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	0
0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	22	0	2	4	6	8	10	12	10	8	6	4	2
3	21	0	3	6	9	12	9	6	3	0	3	6	9
4	20	0	4	8	12	8	4	0	4	8	12	8	4
5	19	0	5	10	9	4	1	6	11	8	3	2	7
6	18	0	6	12	6	0	6	12	6	0	6	12	6
7	17	0	7	10	3	4	11	6	1	8	9	2	5
8	16	0	8	8	0	8	8	0	8	8	0	8	8
9	15	0	9	6	3	12	3	6	9	0	9	6	3
10	14	0	10	4	6	8	2	12	2	8	6	4	10
11	13	0	11	2	9	4	7	6	5	8	3	10	1
12	0	12	10	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0

Werte zweckmäßig mit roter Farbe. Die Zahlenabfolgen im Kopf und in der ersten Spalte der Tabelle berücksichtigen die Wertwiederholungen entsprechend der Beziehung (6), welche eine Vertauschung von  $h$  und  $m$  zuläßt. Die fettgedruckten Zahlen bedeuten, daß der Tabellenwert mit dem umgekehrten Vorzeichen zu versehen ist; der Vorzeichenwechsel entfällt selbstverständlich für die Bereiche: gleichzeitig  $T/2 < m \leq T$  und  $T/2 < h \leq T$ . Tabelle 2 enthält für  $T = 24$  alle überhaupt möglichen  $\overline{mh}$ -Werte. Entsprechende Tabellen kann man für andere Koordinatenunterteilungen aufstellen, z. B.  $T = 48$ ; für eine spezielle Analyse können dann die benötigten Werte jeweils den vorliegenden Tabellen entnommen werden.

#### B. Anordnung des Rechenschemas.

An dem in Tabelle 3 aufgestellten Schema soll die Handhabung des Rechenverfahrens erläutert werden. In der ersten Spalte sind alle Interferenzen mit meßbarer Intensität zusammengestellt. Die Interferenzen  $(h00)$  und  $(0k0)$  sind hierbei aus noch anzugebenden Gründen fortgelassen. Die benachbarten Spalten enthalten die reduzierten  $\overline{mh}$ -Werte, welche für die Unterteilung  $T = 24$  der Tabelle 2 entnommen werden können. Eine entsprechende Tabelle wird für die  $\overline{nk}$ -Werte aufgestellt, hierbei ist die Anordnung wie vorher durch die  $(hk0)$  gegeben. Die  $\overline{nk}$ -Tabelle wird in einzelne Streifen mit konstantem  $n$  geschnitten. Zur Bestimmung des Klammerausdrucks  $N = (\overline{mh} + \overline{nk})$  wird der Streifen  $n$  neben die Spalte  $m$  gelegt und für eine bestimmte Interferenz  $(hk0)$  die nebeneinander stehenden Zahlen addiert; für die weiteren Bestimmungen ist wegen der Beziehung  $\cos \alpha = \cos (-\alpha)$  nur der absolute Wert von  $N$  zu berücksichtigen.

Die Tabelle der reduzierten Werte wird im rechten Teil durch eine Teiltabelle, welche bei der gewählten Unterteilung  $T$  in Zuordnung zu der festgelegten Abfolge der  $(h k 0)$  alle möglichen Werte von

$$S_{hk}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} N, \quad N = 0, 1, 2, 3 \dots T \quad (9)$$

enthält, ergänzt. Die Absolutwerte werden schon mit Bezug auf die cos-Funktion innerhalb einer Viertelperiode mit  $N = 0, 1, 2, \dots, T/4$  erfaßt. Die Vorzeichenauswahl von  $S_{hk}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} N$  für  $\frac{T}{4} < N \leq T$  geschieht unter Verwendung des Leitschemas im Kopf der Teiltabelle; das Leitschema gibt die Beziehung

$$\cos 2\pi \frac{1}{T} N = -\cos 2\pi \frac{1}{T} (z - N) = -\cos 2\pi \frac{1}{T} (z + N) = \cos 2\pi \frac{1}{T} (T - N) \quad (10)$$

wieder. Die fettgedruckten Zahlen bedeuten, daß der Tabellenwert in der zugehörigen Spalte bei der Summenbildung mit dem negativen Vorzeichen zu versehen ist. Bei Verwendung des Schemas für eine FOURIER-Analyse wäre noch das Vorzeichen von dem Strukturfaktor  $S_{hk}$  zu berücksichtigen.

*Beispiel:* Bestimmung eines Einzelsummanden

für  $(h k 0) = (230)$  und  $m = 5, n = 7$ .

$$S_{hk}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{24} (2 \cdot 5 + 3 \cdot 7).$$

In der Zeile (230) Spalte 5 steht der reduzierte Wert

$$\overline{2 \cdot 5} = 10,$$

auf dem Streifen 7 steht an entsprechender Stelle

$$\overline{3 \cdot 7} = 21 - 24 = -3.$$

Für  $N = 10 - 3 = 7$  ergibt sich aus der Teiltabelle der Wert  $-57$ .

Bei der Aufstellung der Tabelle wurden zunächst die sich auf die Interferenzen  $(h 0 0)$  und  $(0 k 0)$  beziehenden Summanden nicht berücksichtigt. Da die Summe

$$\sum_h S_{h0}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} \overline{m h} = \varphi_m \quad (11)$$

unabhängig von  $n$  ist, kann sie jeder  $m$ -Spalte als konstanter Wert vorangestellt werden. In gleicher Weise wird auf jedem  $n$ -Streifen die von  $m$  unabhängige Summe

$$\sum_k S_{0k}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} \overline{n k} = \varphi_n \quad (12)$$

vermerkt. Bei der Summenbildung

$$\varphi_{mn} = \sum_{hk} S_{hk}^2 \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} (\overline{mh} + \overline{nk}) \quad (13)$$

werden zunächst die auf die Gl. (11) und (12) bezüglichen Summen addiert und dann die weiteren Summanden entsprechend dem angeführten Beispiel zugefügt. Für diese Endrechnung benutzt man zweckmäßig eine Addiermaschine.

Tabelle 3. Auszug aus einem Rechenschema für  $T = 24$  mit eingefügtem Streifen  $n = 7$ .

$\varphi_m$	321	527	788	83	168	37	654	168	83	788	527	1321	0	1	2	3	4	5	6	
$m$	0	1	2	3	4	5	$\bar{7}k$	$\bar{7}k$	8	9	10	11	12	12	11	10	9	8	7	
$h k 0$	0	1	2	3	4	5								24	23	22	21	20	19	18
-120	0	1	2	3	4	5	10	10	8	9	10	11	12	242	234	210	171	121	63	0
16	0	1	2	3	4	5	6	6	8	9	10	11	12	529	511	458	374	265	137	0
21	0	2	4	6	8	10	7	7	8	6	4	2	0	319	309	277	226	160	83	0
23	0	2	4	6	8	10	3	3	8	6	4	2	0	218	211	189	155	109	57	0
28	0	2	4	6	8	10	8	8	6	4	2	0	47	46	41	33	24	12	0	
57	0	5	10	9	4	1	1	1	8	3	2	7	12	104	100	91	73	52	27	0
72	0	7	10	3	4	11	10	10	8	9	2	5	12	45	44	40	32	22	11	0

In Tabelle 3 ist ein Auszug aus einem Rechenschema für  $T = 24$  wiedergegeben. Auf dem eingefügten Streifen  $n = 7$  sind nebeneinander gleichzeitig die reduzierten Werte  $n \bar{k}$  und  $n \bar{k}$  vermerkt. Diese Anordnung ist für Auswertungen, in denen  $S_{hk}^2 = S_{\bar{h}\bar{k}}^2$  ist, zweckmäßig, da man in diesem Fall die Werte der rechten Teiltabelle gleichzeitig den Interferenzen  $(h k 0)$  und  $(\bar{h} \bar{k} 0)$  zuordnen kann. (Wegen der gleichzeitigen Bestimmung von  $|\bar{m}h + nk|$  und  $|\bar{m}h - n\bar{k}|$  kann in diesem speziellen Fall die Tabelle dadurch abgeändert werden, daß man nur die absoluten Beträge von  $\bar{m}h$  vermerkt.) Es möge darauf hingewiesen sein, daß die ausgehend von Gl. (2) errechneten Funktionswerte  $\varphi_{m,n}$  relativ sind; das gleiche gilt für die Zahlen der rechten Teiltabelle.

Für das in Tabelle 3 angegebene Beispiel erhalten wir bei der Errechnung des Funktionswertes  $\varphi_{5,7}$  folgende Einzelsummanden:  $371 - 654 + 63 - 171 + 511 - 511 - 83 + 226 - 57 - 211 - 0 + 41 + 91 + 104 + 44 + 32 = - 204$ .

Bei Symmetrieeigenschaften mit  $S_{hk}^2 = S_{\bar{h}\bar{k}}^2$  werden die reduzierten  $\bar{m}h$  und die  $S_{hk}^2 \cos 2\pi \frac{1}{T} N$ -Werte in Abhängigkeit von  $(h k 0)$  mit in der Tabelle selbst aufgeführt; auf den Streifen wird in diesem Fall nur eine Kolonne der reduzierten  $n \bar{k}$  vermerkt.

#### Literatur.

- [1] PATTERSON, A. L.: Z. Kristallogr. Bd. 90 (1935) S. 517. — [2] ROBERTSON, S. N.: Phil. Mag. (7) Bd. 21 (1936) S. 176. — [3] HARKER, D.: J. chem. Physics Bd. 4 (1936) S. 381. — [4] HALLA, F. u. A. NETH: Z. angew. Mineral. Bd. 4 (1943) S. 379.

## Über zwei Cölestinvorkommen vom nördlichen Alpenrand.

Von

HERMANN STEINMETZ, München.

Mit 1 Textabbildung.

(Eingegangen am 19 Januar 1948.)

Das Cölestinvorkommen von Marienstein, südlich von Gmund am Tegernsee, wurde von L. v. AMMON [1] geologisch bearbeitet und die dortigen Kristalle ausführlich von P. v. SUSTSCHINSKY [2] beschrieben. Über die Morphologie der Cölestinkristalle vom Burgberg bei Lenggries scheinen keine näheren Angaben vorzuliegen. Daher soll zuerst kurz über sie berichtet werden.

Die Kristalle zeigen folgende Formen: (110) meist vorherrschend, (320) als Streifung vorhanden, (001), (011), (102) und (101) meist deutlich mit glänzenden Flächen ausgebildet, (111) in der Regel klein und öfters fehlend, (144) mit nicht sehr guten, aber oft ziemlich großen Flächen ausgebildet und (165) selten als schmale Kantenabstumpfung zwischen (011) und (110) erscheinend. Die beiden letztgenannten Flächen scheinen nachträglich durch Ätzung entstanden zu sein. Die Figur zeigt eine mittlere Ausbildung. v. SUSTSCHINSKY beobachtete an den Mariensteiner Kristallen prismatische, pyramidale und domatische Typen, an den Lenggrieser wurde nur ein Kristalltyp beobachtet. Die nebenstehende Tabelle gibt die wichtigsten Identifizierungswinkel des Vorkommens, verglichen mit den aus v. SUSTSCHINSKYs Messungen berechneten Werten.

Die Kristalle von Lenggries sind im Gegensatz zu den bläulichen von Marienstein farblos oder gelblich gefärbt. Wie die Mariensteiner enthalten sie etwas Barium, das spektroskopisch qualitativ nachgewiesen wurde. Bei der mikroskopischen Untersuchung von durchsichtigen Spaltplatten sind zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse zu erkennen.

Der Cölestin von Lenggries findet sich in dem Steinbruch am Burgberg auf dem linken Isarufer oberhalb des Ortes. Dort werden dunkel gefärbte, nahezu senkrecht stehende Schichten des triassischen Muschelkalkes hauptsächlich für die Zwecke der Flußverbauung gebrochen. Durch orogenetische Vorgänge ist dieser Muschelkalk auf etwa 3 m Mächtigkeit in eine grobstückige Breckzie zerbrochen, aber auch wieder durch neugebildeten, weißen Kalkspat zu einem festen Gestein verkittet worden. Auf der Oberfläche dieser Breckzienstücke, eingehüllt in den Kalkspat der Klüfte, finden sich vereinzelt die Cölestinkristalle. Ihre Größe

	Gemessen	Berechnet nach v. S.
1 0 : 110	76° 10'	75° 49'
011 : 001	52° 00'	52° 03'
111 : 110	25° 55'	25° 37'
102 : 001	39° 16'	39° 28'
101 : 001	58° 40'	58° 44'
001 : 144	52° 49'	53° 24'
011 : 144	13° 55'	14° 12'
102 : 144	52° 20'	51° 58'
110 : 165	50° 51'	49° 43'
144 : 165	6° 33'	6° 44'

schwankt zwischen der linearen Länge von 4—12 mm. Neben farblosen gibt es häufig auch solche, die sich durch gelbliche Färbung leicht von dem weißen Kalkspat abheben.

Das Vorkommen von Marienstein zeigt manche Ähnlichkeit mit dem Lenggrieser. Leider ist es gegenwärtig nicht zugänglich, da es sich in einem etwa 1 km langen Stollen befindet, der in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts zur Gewinnung eines etwa 20% Ton enthaltenden Kalksteines (Zementmergel) angelegt wurde, jetzt aber nicht mehr gangbar ist. Nach den Angaben v. AMMONS gehört dieses Gestein der Kreideformation an. Es ist ebenfalls tektonisch stark

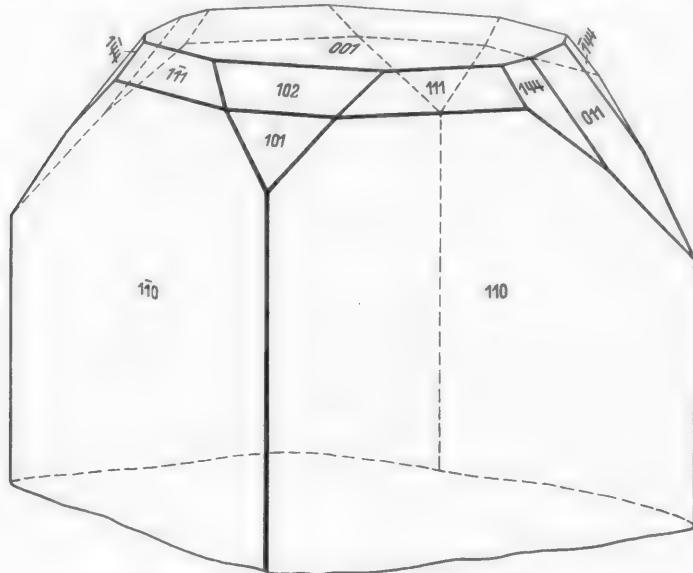


Abb. 1. Cölestinkristall vom Burgberg bei Lenggries.

zerrüttet, seine Klüfte ebenfalls mit weißem Kalkspat ausgeheilt. Und in diesem Kluftkalkspat findet sich der bläulich gefärbte Cölestin. Alle in den Münchener Sammlungen aufbewahrten Stücke scheinen im Kriege vernichtet worden zu sein.

Zur Erklärung dieser Strontianreicherungen am oberbayerischen Alpenrande muß an das geochemische Vorkommen des Strontiums erinnert werden, das in neuerer Zeit von W. NOLL [3] erforscht wurde. Primäre, typische Sr-Träger sind syenitische, nephelin- und leuzitsyenitische Gesteine, in denen das Sr zum Teil das Ca diadoch vertritt, teils das Kalium das Sr „abfängt“. Das Verhältnis Sr : Ca ist in solchen Gesteinen etwa 0,5 : 100. Zu höheren Konzentrationen des Sr kommt es in den Ca-Mineralien nicht, da die Größenunterschiede der Ionen von Ca (1,06) und Sr (1,27) zu groß sind, um Sr-reichere Mischkristalle entstehen zu lassen. Aus diesen Primärvorkommen gelangt dann das Sr durch die Vorgänge der Gesteinsverwitterung in die Sedimentgesteine, vorwiegend in Kalksteine. Auch hier ist es wohl zum Teil isomorph in den Kalzit eingebaut, zum anderen Teil ist es als feinverteilter, Sr-haltiger Anhydrit den Kalkgesteinen beigemengt. Im Vergleich mit den Primärvorkommen ist hier die Konzentration des Sr kleiner, in den Sölenhofener Schiefern beträgt sie z. B. Sr : Ca wie 0,05 : 100.

Bei dem völligen Fehlen aller Eruptivgesteine in der Umgebung der fraglichen Cölestinvorkommisse scheidet die primäre Herkunft des Sr auch in Form hydrothermaler Zufuhr wie in der von Verwitterungslösungen kristalliner Gesteine von vornherein aus. Es kann sich nur um eine Anreicherung im sedimentären Gebiet handeln. Eine solche ist nur möglich, wenn verhältnismäßig große Kalksteinmassen aufgelöst werden und dabei ihr geringer Sr-Gehalt in Form einer eigenen Sr-Verbindung festgelegt wird. Diese Vorbedingungen sind bei den fraglichen Vorkommen gegeben. Die Breckzien enthalten in ihren ersten Daseinsphasen ein beträchtliches Hohlraumvolumen, durch das große Quantitäten von Lösungen hindurchströmen können, bis dann allmählich die Hohlräume durch den auskristallisierenden Kalkspat geschlossen werden. Die descendentalen Lösungen selbst können nur aus Klüften und Poren des Nebengesteines stammen, also lateralsekretiver Herkunft sein, da ascendente Herkunft abzulehnen ist, und Verwitterungslösungen *kristalliner* Gesteine in weitem Umkreis nicht vorhanden sind. Die für die Festlegung des Strontiums notwendige Schwefelsäure kann bei dem Lenggrieser Vorkommen aus dem in dem Muschelkalk fein verteilten Pyrit herstammen, der sich auf der großen Breckzienoberfläche oxydiert hat. Die Mariensteiner Zementmergel sind an sich gipshaltig, wobei der Gehalt an  $\text{SO}_4$ -Ionen letzten Endes auch aus der Oxydation von Pyrit stammen wird.

Indessen handelt es sich bei der Überführung des Strontiums in das Sulfat nicht um eine einfache Ausfällung, wenn man die Löslichkeit der in Betracht kommenden Salze in reinem Wasser ins Auge faßt. Da das Strontiumkarbonat etwa eine Zehnerpotenz schwerer löslich ist als das Strontiumsulfat, so müßte eigentlich Strontianit an Stelle von Cölestin erscheinen (W. NOLL). Wie die Kristallisation des gleichzeitig ausgeschiedenen Kalkspates zeigt, waren die Lösungen mit Kohlensäure gesättigt. Und wenn man ferner berücksichtigt, daß in einem mit  $\text{CO}_2$  gesättigten Wasser Strontiumkarbonat erheblich leichter löslich ist als in reinem Wasser, ist eine Ausfällung des Sr als Sulfat sehr wohl möglich. Nach WARTENBERG und T. MAYER MANN [4] sinkt die Löslichkeit von Strontiumkarbonat in reinem Wasser unter die des Strontiumsulfates erst bei einer pH-Zahl über 7. Die Tendenz des Sr in den Kalk isomorph einzugehen, ist außerordentlich gering, und so bleiben die bei der Kalzitkristallisation restierenden Lösungen immer mit Strontiumionen beladen.

Diese Vorgänge sind vollkommen unabhängig von dem geologischen Alter der Schichten, in denen sie sich abspielen. Für die Bildung des Lenggrieser Cölestins sind also nicht besondere geochemische Vorgänge der Triaszeit anzunehmen, ebenso wenig solche der Kreidezeit für die Bildung des Mariensteiner Cölestins. Die Cölestinbildung ist dagegen hier wie dort an die Existenz der Breckzienhohlräume geknüpft, ist dem Alter nach an die Entstehung jener, also die Alpenfaltung im jüngeren Tertiär fruestens gebunden. Somit ist es hier die Entstehung günstiger Kristallisierungsbedingungen, die einen gewissermaßen latenten geochemischen Vorgang zur Auslösung, d. h. zur Bildung eines neuen Minerals bringt.

Es ist nicht exakt möglich, das Mengenverhältnis der die Klüfte füllenden Mineralien, Cölestin zu Calcit, in den beschriebenen Vorkommen anzugeben, es dürfte aber schätzungsweise sich wie Eins zu dem Mehrhundertfachen verhalten. Rechnet man ausgehend mit dem Atomverhältnis Ca : Sr gleich 100 : 0,08, wieviel

## 02 HERMANN STEINMETZ: Über zwei Cölestinvorkommen vom nördlichen Alpenrand.

Cölestin neben Calcit neu auskristallisieren würde, so ergeben sich auf einen Gewichtsteil Cölestin 680 Gewichtsteile Calcit, also etwa die gleiche Größenordnung wie im Fundmaterial. Daraus ist zu folgern, wie es von Anfang an anzunehmen war, daß eine primäre Zufuhr von Sr, also im eigentlichen Sinne eine Sr-Anreicherung nicht stattgefunden hat, sondern nur eine relative, indem das ursprünglich fein verteilte Strontium in einem eigenen Mineral, dem Cölestin, sichtbar abgetrennt und in einigen wenigen Cölestinkristallen konzentriert worden ist. Es ist wahrscheinlich, daß man bei einer zukünftigen, noch genaueren als der bisherigen Durchmusterung der nördlichen Kalkalpen noch öfters in tektonisch stark zerrütteten Zonen auf Cölestinvorkommnisse stoßen wird.

### Literatur.

- [1] AMMON, L. v.: Geognostische Beobachtungen aus den Bayerischen Alpen. Geognostische Jahreshfte, München Bd. 7 (1894) S. 100. — [2] SUSTSCHINSKY, P. v.: Über den Cölestin aus dem Zementsteinbergwerk Marienstein bei Tegernsee in Bayern. Z. Kristallogr. Bd. 34 (1901) S. 563. — [3] NOLL, W.: Geochemie des Strontiums. Chem. d. Erde Bd. 8 (1934) S. 507. — [4] WATTENBERG u. TIMMERMANN: Die Löslichkeit von Magnesium- und Strontiumkarbonat in Seewasser. Bd. 11 (1937). Kieler Meeresforschung.

(Aus dem Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Heidelberg.)

## Plagioklaseinschlüsse in Sanidineinsprenglingen der Nevadite von den Cerros Alifragas.

Von

ERWIN NICKEL.

Mit 3 Textabbildungen.

(Eingegangen am 20. Mai 1948.)

ROSENBUSCH ([1], S. 784) beschreibt Sanidine aus Hyalonevaditen von den Cerros Alifragas bei Vera in Spanien. Es handelt sich um bis 6 cm große Exemplare, die OSANN ([2], S. 713) untersuchte, und die durch Einregelung von Biotit und Plagioklas bemerkenswert sind. Der Anorthitgehalt der Plagioklase, den OSANN nicht angibt, ist ohne Abhängigkeit vom Zentralabstand innerhalb des Wirtes um 50%; das Muttergestein, von dem er sagt, daß es zu den Daziten überleitet, wäre mithin intermediär und nicht bei den sauren Eruptiva abzuhandeln (zumal auch rhombischer Pyroxen auftritt; s. auch OSANN [2] S. 914/15). Im Institut sind leider nur die Sanidineinsprenglinge vorhanden<sup>1</sup>.

Es wurde die Einregelung der Plagioklase mit dem Drehtisch näher untersucht.

OSANN erwähnt bereits den durch Anlagerung von Biotitblättern deutlichen Zonenbau. An den Wachstumsstreifen des Sanidins (der nach außen zu etwas höhere Lichtbrechung zeigt) lassen sich außer den von OSANN erwähnten Flächen  $P$  (001),  $M$  (010),  $T$  (110),  $z$  (130),  $y$  (201),  $o$  (111) noch  $k$  (100),  $t$  (201),  $q$  (203),  $x$  (101) erkennen. Dabei alterniert die Flächengröße. So lösen sich z. B.  $q$  und  $P$  gegenseitig in ihrer Dominanz ab.

Im allgemeinen lagern sich die Biotit- und Plagioklasindividuen, falls sie nicht wirre Agglomerate bilden, mit ihren Hauptflächen, also (001) der Biotite, bzw. (001) und (010) der Plagioklase an die (001), (101) oder (423) und (100) oder (110) des Wirtes. Wenn die Biotite, die sich nach der Basis anlagern, bis zu 30° um die Lage der symmetrischen Zone schwanken, so mögen schräge Flächen, wie die erwähnten (423) und (110), dafür verantwortlich sein (s. weiter unten); zum Teil sind die wachsenden Sanidinflächen wohl „holperig“. Die Abb. 1 soll ferner andeuten, daß das Oberflächenvorrücken der Sanidinindividuen,

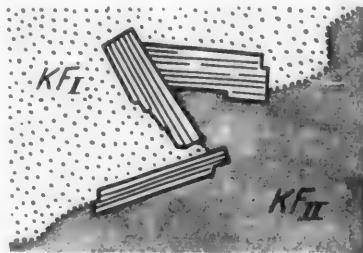


Abb. 1.

<sup>1</sup> Auch die von OSANN 2 Jahre vorher (1887) als Liparite (Nevadite) von Alifragas gesammelten Handstücke des Freiburger Mineralogischen Institutes führen einen Einsprenglingsfeldspat von etwa 50% Anorthit und Hochtemperaturorientierung. — Die Feldspalteisen wie die großen Einsprenglinge zeigen durch eine Serie konzentrischer Rekurrenz- zonen, daß die Basizität wohl mehrfach gewechselt, im Mittel aber gleich geblieben ist (Kern- partien löschen gleichzeitig mit Saumpartien aus; also keine „Ausdifferenziation“).

die in Karlsbader Zwillingsstellung zueinander stehen, durch Einschlüsse (von Biotit), die dem Wachstum „in die Quere“ kommen, modifiziert wird.

Außer vorgenannten fielen bei den Plagioklasen folgende Einregelungen auf<sup>1</sup>:

Verfasser glaubte schon öfter bemerkt zu haben, daß Plag-Einschlüsse *a,b*, die an der Grenze der Zwillingsnaht des *KF*-Wirtes I, II liegen, bei der Einregelung Zonen bevorzugen, für die es in *beiden KF*-Zwillingsindividuen annähernd parallele Flächen gibt. Es fallen bei Karlsbader Stellung der *KF*-Individuen beispielsweise die [101] des einen *KF* annähernd zusammen mit der [100] des anderen, die (*x*)<sub>I</sub> annähernd mit der (*P*)<sub>II</sub>. Die eingeschlossenen Plagioklase liegen dann oft so, daß sie „genauer“ nach dem *KF*-Individuum orientiert

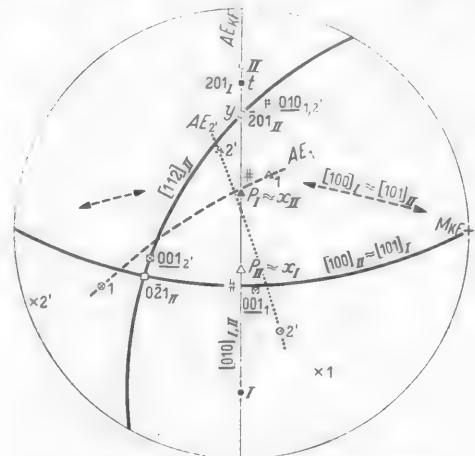


Abb. 2.  $\perp [001]$  *KF*; ■ *KF*; □ *KF*<sub>II</sub>; ▨ Plag 1 und 2'; # eingemessene Flächen; □ konstruierte Flächen.

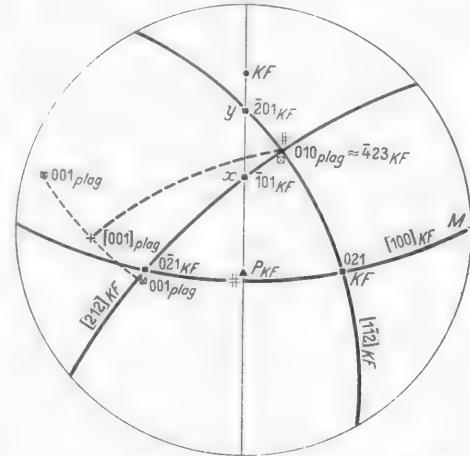


Abb. 3.  $\perp [001]$  *KF*; ■ *KF*; ▨ Plag Zw; # eingemessene Flächen; □ konstruierte Flächen.

sind, in dem sie nicht (mehr ?) liegen. So läßt sich beispielsweise die Einmessung der Abb. 2 folgendermaßen deuten:

Der Plag-Komplexzwillling 1,2' liegt im *KF*<sub>I</sub> des Karlsbader Zwillings I, II. Man wird die Orientierung des Plag-Komplexes also zunächst beschreiben als

$$VF_{\text{Plag}} \approx t (201)_{KF_I}, \text{ zugleich } (001)_{\text{Plag}} \text{ in Zone [101] von } KF_I.$$

Die Einregelung wird aber geometrisch plausibler, wenn man angibt:

$$VF_{\text{Plag}} \approx y (201)_{KF_{II}}, \text{ zugleich } (001)_{\text{Plag}} \text{ in Zone [100] von } KF_{II}.$$

da man dann zusätzlich die eine der (001)<sub>Plag</sub> auf der (001) des *KF*<sub>II</sub> „unterbringen“ kann und die andere (001)<sub>Plag</sub> in die Nähe der (021) des *KF*<sub>II</sub> kommt (etwa 8° Abstand).

Zum Verständnis für ein solches Verhalten läßt sich vielleicht geltend machen, daß wir nicht sicher wissen, in welchem Stadium des Wachstums die Gitterebenen in Zwillingsstellung zueinander treten, bzw. wie sich die Gitterebenen an der Grenze zwischen *KF*<sub>I</sub> und *KF*<sub>II</sub> ins Gleichgewicht setzen. Möglicherweise fixieren Einschlüsse Orientierungen vor einer Umdisposition.

<sup>1</sup> Es bedeuten: *KF* = Kalifeldspat (I, II = Zwillingsindividuen); Plag = Plagioklas (*a*, *b* bzw. 1, 2 = Zwillingsindividuen); [ ] Zonen; ( ) Flächen; *VF* = Verwachsungsfläche; *AE* = Achsenebene; 0 =  $\alpha$ , + =  $\beta$ , A =  $\gamma$ .

Tabelle 1. Einmeßdaten (N/H nach REINHARD).

Individuum	Morphologie	Indikatrix	Zwillingsgesetz	Winkel der korrespondierenden Mittellinien	Auswertung derselben nach den KOHLERSchen Kurven für	
					Tief-temperatur	Hohe-temperatur
<i>Beispiel 1. Plag.-Zwillinge in KF (zugleich zu Abb. 3).</i>						
Plag. 1, 2	$M_{1,2}$ 298/15	$\gamma_1$ 96/9, $\beta_1$ 2/25 $\gamma_2$ 286/43, $\alpha_2$ 44/28	Karlsbad	$\alpha_1 \alpha_2$ 87° $\beta_1 \beta_2$ 116° $\gamma_1 \gamma_2$ 53°	47	48 49 47
KF	$P$ 50/5	$\gamma$ 54/3, $\alpha$ 144/0,5	mit $KF_{II}$ in Karlsbader Stellung			
<i>Beispiel 2. Plag.-Zwillinge in KF.</i>						
Plag. 1, 1 $\pi$	$\pi$ 226/6	$\gamma_1$ 278/27, $\beta_1$ 186/8 $\gamma_\pi$ 356/20, $\beta_\pi$ 244/46, $\alpha_\pi$ 100/36	Periklin	$\alpha \alpha_\pi$ 150° $\beta \beta_\pi$ 61° $\gamma \gamma_\pi$ 71°	55	53 40 49
<i>Beispiel 3. Plag.-Zwillinge in <math>KF_I</math> (zugleich zu Abb. 2).</i>						
Plag. 1, 2 $\pi$	$M_{1,2\pi}$ 12/13	$\beta_1$ 142/27, $\gamma_1$ 43/18 $\gamma_2$ 213/5, $\alpha_2$ 121/18	Karlsbad-Albit-Komplex	$\alpha_1 \alpha_2$ 76° $\beta_1 \beta_2$ 82° $\gamma_1 \gamma_2$ 24°	53	52 53 37
$KF_I$	$P_I$ 46/7	$\gamma_I$ 52/5, $\alpha_I$ 142/1	Karlsbad			
$KF_{II}$	$P_{II}$ 98/3	$\gamma_{II}$ 90/5, $\alpha_{II}$ 359/3				

Nicht unabhängig von der Zwillingsbildung ist auch die Tracht, die im Verlaufe des Wachstums außerdem meist dahingehend wechselt, daß dabei Flächen verschwinden, bis schließlich nur noch die einfachsten Kombinationen von Flächen übrigbleiben. Einregelungen im Inneren des Kristalles gestatten also solche verschwundene Flächen nachzuweisen, besonders dann, wenn (wie bei Effusiva) die orientierte Lage der Einschlüsse als Anlagerung auf Oberflächen in einer Schmelze zu deuten ist. So im Beispiel der Abb. 3 die Anlagerung nach einer (später nicht mehr nachweisbaren) Fläche (423) in der Zone (112), also einer Fläche, die etwas gekippt zur symmetrischen Zone liegt; ich wies schon darauf hin, daß solche Flächen vielleicht auch das Schwanken der Biotitlagen um die [010] erklären. — Dann ist aber die Einregelung nach Abb. 3 dadurch merkwürdig, daß wieder eine (001)<sub>Plag</sub> in die Nähe der Bavenofläche (021) des KF kommt, diesmals allerdings in die des eigenen Wirtes  $KF_I$ <sup>1</sup>.

(Die Abbildungen sind nach den Meßdaten gezeichnet und nicht idealisiert, denn wir haben hier Approximativverscheinungen [3], keineswegs immer nur „schlechte Einmessungen idealer Gesetze“. Hingegen ist es oft zweckmäßig, den Pol der Zwillingsachse allein aus den optischen Daten heraus zu errechnen. Die sodann rückwärts konstruierte VF der Plagioklase differiert oft beträchtlich von der eingemessenen, mehr noch als es die an sich schon schlechte Erfassbarkeit der morphologischen Bezugsrichtung erwarten läßt [in der Abbildung: # gemessen; □ konstruiert].)

<sup>1</sup> Nennt man die Anlagerung nach der Bavenofläche „typisch“, so wäre das angeführte Beispiel im Vergleich zum vorigen eine Stütze für die „Umdispositionshypothese“.

Schließlich noch einige Bemerkungen zur Temperaturabhängigkeit der optischen Orientierung [4]. Es zeigte sich nämlich, daß innerhalb ein und desselben *KF*-Individuums Hoch- und Tieftemperaturorientierung bei eingeschlossenen Plagioklasen nebeneinander vorkommen.

Dazu 3 Beispiele (Tabelle 1):

1. Karlsbader Zwillinge. Auswertung nach REINHARD (Tafel 2) etwa 50% An; die Punkte liegen beide rechts von der Migrationskurve von (010). Die Winkel der korrespondierenden Mittellinien (Reihenfolge  $\alpha\alpha$ ,  $\beta\beta$ ,  $\gamma\gamma$ ) ergeben nach den KÖHLERSchen Kurven<sup>1</sup> in % An

bei der Auswertung nach Tieftemperaturorientierung . . . . .	47, 51, 57
" " " Hochtemperaturorientierung . . . . .	48, 49, 47;

man wird die Hochtemperatur-Interpretation bevorzugen.

2. Periklinzwillinge. Das eine Individuum fällt auf die REINHARD-Kurve bei 55% An, das andere bei etwa 50% An rechts daneben. Nach KÖHLER:

bei der Auswertung nach Tieftemperaturorientierung . . . . .	55, 69, 58
" " " Hochtemperaturorientierung . . . . .	53, 40, 49

Mittelbildung aber . . . . . 54, 54, 53; und schließlich

3. Albit-Karlsbader-Komplex mit schlecht einzumessender (010), daher Auswertung nach REINHARD, Tafel III [auf (010) also] mit 52% An. Nach KÖHLER:

bei der Auswertung nach Tieftemperaturorientierung . . . . .	53, 53, 52
" " " Hochtemperaturorientierung . . . . .	52, 53, 37.

Es liegen hier keine Hinweise für Hochtemperaturoptik vor.

Die Beispiele zeigen, daß Übergänge zwischen beiden Orientierungen, und zwar auf engstem Raume, vorhanden sind (vgl. WENK [5]). Es ist aber nicht angängig, KÖHLER und seine Mitarbeiter dahingehend festzulegen und zu kritisieren, daß sie ein Entweder-Oder der Orientierung behauptet hätten. A. KÖHLER selbst schreibt (in [4], S. 37 unten): „... Übergänge muß es ja geben, sie sind in erster Linie bei manchen Erguß- und Ganggesteinen zu erwarten ...“

#### Literatur.

- [1] ROSENBUSCH, H.: Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine II. Stuttgart: E. Schweizerbart 1908. — [2] OSANN, A.: Beiträge zur Kenntnis der Eruptivgesteine des Cabo de Gata II. Z. dtsch. geol. Ges. Bd. 43 (1891) S. 68. — [3] NICKEL, E.: Das Mischgestein von Typus Eichenbach und seine Stellung im Rastenberger Tiefenkörper. Diss. 1944. [Letztes Heft Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr. (Abt. B: Minera., Petrogr. Mitt.); noch nicht erschienen.] — [4] KÖHLER, A.: Die Abhängigkeit der Plagioklasoptik vom vorangegangenen Wärmeverhalten. Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr.: Abt. B (Mineral., Petrogr. Mitt.), Bd. 53 (1941) S. 24. — [5] WENK, E.: Kritischer Vergleich von ... Anorthitstimmungen an Plagioklasen ... Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. Bd. 25 (1945) S. 349.

<sup>1</sup> Für jedes Zwillingsgesetz sind die Winkel zwischen den Polen der Zwillingsindikatrizen (nach den Standardangaben für die verschiedenen Plagioklas-Mischglieder) konstruiert. Da die Indikatrix mit Veränderung des Anorthitgehaltes ihre Lage im Kristallgebäude stetig ändert, entstehen Winkelkurven, aus denen sich bei Kenntnis des Zwillingsgesetzes der Anorthitgehalt ergibt. Die entsprechenden Kurven für Hochtemperaturorientierung liegen etwas anders, so daß man, Anorthitgleichheit in beiden Zwillingsindividuen vorausgesetzt, entscheiden kann, ob Hoch- oder Tieftemperaturorientierung vorliegt. — Eine richtige Interpretation liegt also dann vor, wenn % An für  $\alpha\alpha - \beta\beta - \gamma\gamma$  ist.

# Ein metamorphes Erzgefüge.

Von

DORIS SCHACHNER-KORN, Aachen.

Mit 3 Textabbildungen und 9 Diagrammen.

(Eingegangen am 14. April 1948.)

## Inhaltsübersicht.

A. Raumkoordinaten des Gefüges . . . . .	407
B. Mikroskopische Beobachtungen . . . . .	408
C. Lagebestimmung der einzelnen Gefügegegenossen . . . . .	409
I. Regelung des Boulangerites . . . . .	410
II. Das Verhalten des Bournonites gegenüber den umformenden Kräften . . . . .	412
III. Das Bleiglanzgefüge . . . . .	413
D. Gefügesynthese . . . . .	425

In der vorliegenden Arbeit wird über die Ergebnisse einer Gefügesynthese an einem feinkörnigen komplexen Erz aus Bleiglanz, Boulangerit, Bournonit, Fahlerz, Kupferkies und Spateisen berichtet. Das Material stammt von der Grube Friedrichssegen bei Oberlahnstein.

Es ist ein sehr feinkörniges, im wesentlichen aus Bleiglanz bestehendes Aggregat, nahe der Gangwand entnommen und in Nachbarschaft zu Gangteilen, die als Bleischweif entwickelt sind. Es zeigt selbst aber, wie die Untersuchung ergab, ein Rekristallisationsgefüge von feinstem Korn.

## A. Raumkoordinaten des Gefüges.

Mit bloßem Auge ist eine straffe Parallelordnung feinster, bis zu 1 mm langer Bleiglanzstengelchen zu erkennen. In dem im wesentlichen aus Bleiglanz aufgebauten Aggregat sind die anderen Gefügebestandteile vereinzelt eingesprengt. Spateisen, Kupferkies und Quarz zeigen bis zu Zentimeter großes Korn. Kupferkies und Quarz sind häufig ebenfalls parallel der linearen Richtung gelängt. Die großen Spateisenkristalle haben jedoch durchweg isometrische Gestalt. Die feinen Bleiglanzstengel setzen, ohne die Richtung zu ändern, an den großen Körnern ab, schmiegen sich also nicht parallel deren Begrenzung an.

Das Gefüge besitzt einige *Rupturen* bzw. mehr oder weniger glattwandige Ablösflächen. Die der Gangwand parallele Fläche (im folgenden mit *G* bezeichnet) fungiert — aber nur angedeutet — als *s*-Fläche. In ihr liegt die lineare Richtung. Eine andere Ablösfläche, glattwandig entwickelt und mehrfach ansetzend, steht ungefähr senkrecht auf *G*. Ihr parallel verlaufen die Spaltflächen der groben Spateisenkörper und, wie die Gefügeaufnahme zeigt, eine Würfelspaltfläche fast aller Bleiglanzindividuen. Die Normale dieser glatten Ablösfläche bildet mit der linearen Richtung einen Winkel von 55°.

### B. Mikroskopische Beobachtungen.

Drei zu den oben beschriebenen mikroskopischen Gefügekoordinaten symmetrische Anschlifflagen wurden mikroskopisch und gefügeanalytisch untersucht. Es folgen zunächst mikroskopische Gefügebetrachtungen ohne statistische Untersuchungen, und zwar für alle drei Anschlifflagen. Weil eine Gefügesynthese und somit Lagebestimmungen für Bleiglanz durchgeführt werden sollten, mußten die Anschlüsse geätzt werden. Die Notwendigkeit dieser Maßnahme erhellt auch aus dem folgenden.

1. *Schliff parallel der Gangwand* (mithin auch parallel der linearen Richtung). Die Bereiche gleicher Ätzspaltbarkeit des Bleiglanzes sind langgestreckt und bis zu 8fach so lang als breit. Bei schwacher Vergrößerung (Abb. 1) sieht man die Bereiche mehrfach sich wiederholend nebeneinander liegen. Die schmalen

Dreiecksausbrüche der einzelnen Bereiche sind gegeneinander wie ein Fischgrätenmuster abgesetzt. Auch ohne Lagebestimmung bekommt man den Eindruck, als handele es sich um viele Lamellen, bei denen gleiche Raumlage für 1, 3 und 5 usw. und ebenso für 2, 4 und 6 usw. vorhanden ist. Die Längsrichtung der schmalen Dreiecke zweier sich berührender Lamellen bilden einen Winkel von 28–35° miteinander.

Außer der Ätzspaltbarkeit wurde auch Korngrenzenätzung erzeugt. Sie zeigt ein feines Maschenwerk, das über die viel größeren Bereiche gleicher Ätzspaltbarkeit



Abb. 1. Lamellenartige schmale Bereiche von Bleiglanz mit gleichen Formen der Spaltausbrüche. Lamelle 1 mit 3, 5 usw. identisch, ebenso Lamelle 2 mit 4, 6 usw. Vergr. 1:40 („Fischgrätenmuster“).

darübergelegt ist. Seine Maschen sind parallel der linearen Richtung häufig auseinandergesogen. Vielleicht stellt das Maschenwerk ein Rekristallisationsgefuge dar und die Bereiche gleicher Ätzspaltbarkeit sind lediglich Überindividuen, die aus einem Haufwerk kleinerer Kristalle bestehen, die gegeneinander geringe, allerdings mikroskopisch nicht mehr beobachtbare Unterschiede in der Orientierung zeigen. (In anderen Bleiglanzaggregaten, in denen das Gefüge nicht so feinkörnig ist und noch eine gewisse Schweißigkeit erkennen läßt, ist die Ätzspaltbarkeit dieser Überbereiche oft leicht gebogen, im ganzen gesehen aber noch annähernd richtungskonstant innerhalb eines Bereiches.) Dort, wo der Bleiglanz die größeren Körner von Quarz, Spateisen und Kupferkies berührt, ist das Maschenwerk enger. Das „rekristallisierte“ Korn ist an solchen Stauchstellen wesentlich feinkörniger (Stellen größerer Verformungsenergie).

Der häufige *Boulangerit* zeigt langgezogene Balkenform oder die Gestalt einer Zigarre. Die Längserstreckung beträgt 30–50  $\mu$ , der kürzere Durchmesser 10 bis 20  $\mu$ . Die Anordnung dieser Boulangeritleisten ist ganz straff parallel der linearen Richtung der Bleiglanzstengel. (Bei + N hellen beim Drehen alle Leisten des Gesichtsfeldes zur gleichen Zeit auf und löschen zusammen aus.) Die Balken liegen

statistisch über den Anschliff verteilt, ohne besondere Häufungszonen oder Anordnung innerhalb der Bleiglanzkörper. Eine Zeilenanordnung ist nicht vorhanden. Wie später noch deutlich wird, ist der Boulangerit als ein Deformations-entmischungsprodukt aus dem Bleiglanz anzusprechen.

*Bournonit* hat isometrischen Querschnitt und zeigt Verzwilligung meist nur nach einer Richtung. Rund  $\frac{1}{3}$  aller Individuen ist unverzwilligt.

Große *Eisenspatkomplexe* lösen sich mikroskopisch in linsenförmige Einzelkörper auf.

*Quarz* hat stets die gleiche langgestreckte Gestalt. Quarz und Eisenspat sind vorzugsweise schnurartig aneinander gereiht, zeigen also eine tektonische Differenzierung.

2. Die zweite Schlifflage ungefähr  $\perp$  zur Gangwand und parallel zur linearen Richtung ähnelt in vielem der zuletzt beschriebenen Lage. Schmale langgezogene Bereiche gleicher Ätzspaltbarkeit des Bleiglanzes. Ein feines, durch Ätzung hervorgerufenes Korngrenzenetzwerk, allerdings ohne bevorzugte Richtung. *Boulangerit* leisten- oder langlinsenförmig. *Bournonit* meist verzwilligt, mit isometrischer Gestalt. *Quarz* und *Kupferkies* gelängt. *Spateisen* zerlegt in ein Haufwerk linsenförmiger Körper, die alle mit ihrer stengeligen Richtung straff parallel orientiert sind.

3. Schnittlage  $\perp$  zur linearen Richtung. Bleiglanzbereiche gleicher Ätzspaltbarkeit zeigen rundlichen, manchmal auch elliptischen Querschnitt. Das durch Ätzung erzeugte Korngrenzenetzwerk ist gleichmaschig und nicht gelängt.

Außer den Bleiglanzen zeigen noch die sehr häufigen *Boulangerite* einen Umriß, wie man ihn für bildsame Mineralien im Schnitt senkrecht zur Längserstreckung erwarten muß, nämlich linsen-, rhomben- oder tropfenförmig. Der Bleiglanz ist siebartig von Boulangerit durchstoßen.

Die *Bournonite* sind auch rundlich ( $20-30 \mu$  im Durchmesser). Sie sind stets verzwilligt, aber von 100 Individuen nur 5 nach zwei Ebenen, was für die 95 anderen nicht ausschließt, daß sie nicht außerdem noch parallel zur Anschliff-ebene verzwilligt sind und die Lamellen daher nicht in Erscheinung treten. Meist sind nur zwei Lamellen nach einer Richtung vorhanden.

*Fahlerz* findet sich selten, und dann vergesellschaftet mit Kupferkies, entweder von diesem durchspickt oder an ihn angrenzend. Die Form des Kornquerschnittes wechselt stark im Gegensatz zu der des Bleiglanzes, des Boulangerites und des Bournonites. Die Gestalt der Körper ist hinlänglich isometrisch, die Umrisse der größeren sind lappig zerfranst.

*Eisenspat* scheint nach jeder Richtung gleich dimensioniert und von wechselnder, aber nach Zentimetern meßbarer Korngröße. *Kupferkies* ist auch meist großkörnig und parallel der Spur von G gelängt. Die wenigen Quarze sind undulös, was mit + N bei Ölimmersion hinreichend gut beobachtet werden kann.

### C. Lagebestimmung der einzelnen Gefügegenossen.

Zum Verständnis der Entstehung dieses metamorphen durchbewegten Erzgefüges schienen Lagebestimmungen der Einzelkörper in bezug auf die mit dem Auge sichtbaren Raumkoordinaten des Gefüges notwendig. Nun sind von den drei häufigsten Gefügegenossen, Bleiglanz, Boulangerit und Bournonit nicht alle drei gleich gut und sicher hinsichtlich ihrer Lagekoordinaten zu bestimmen.

Bleiglanz, der bei weitem häufigste Gefügebestandteil (95 % Volumenanteil), ist zwar nach sorgfältiger Präparation gut angehbar, hat aber den Nachteil, daß er als hochsymmetrischer kristalliner Körper sehr vielerlei Antworten auf Beanspruchung gibt (allein 3 Translationsebenen mit verschiedenen Translationsrichtungen). Es scheint, als ob über die Art und Symmetrie des Verformungsvorganges diejenigen Gefügegenossen eine sichere Aussage machen, die ihrer Struktur nach nicht so vielseitige Verformungsmöglichkeiten besitzen. Obwohl das Einzelkorn des Boulangerites z. B. keine exakte statistische Lagebestimmung erlaubt wie der Bleiglanz, gibt die trotzdem gut zu ermittelnde Regelung desselben eine sichere Vorstellung über den Verformungsplan. Ich stelle daher die Besprechung über die Lagekoordinaten des Boulangerites voran.

### *I. Regelung des Boulangerites.*

Über die Einregelung des Boulangerites ist eine sehr genaue Aussage treffbar, ohne daß Korn für Korn optisch oder kristallographisch (wie beim Bleiglanz) genau vermeßbar wäre.

Die Beobachtung, daß der Boulangerit von Schliff zu Schliff, also in drei aufeinander senkrechten Ebenen seine Querschnittsformen ändert, ließ eine straffe Einregelung vermuten, vorausgesetzt, daß die kristallographischen Daten in bezug auf die Kornform immer dieselben sind bzw. daß gleichen Querschnittsformen gleiche Flächenindizes entsprechen.

Vom Boulangerit sind im Lehrbuch der Erzmikroskopie von SCHNEIDERHÖHN-RAMDOHR folgende optische Daten veröffentlicht: Ausgeprägte Bireflexion besonders in Öl: // a grüngrau am dunkelsten, // b weißgrau weniger dunkel als // c, das blauweiß mit leicht grünlichem Stich ist. Starke Anisotropieeffekte bzw. scharfe Auslöschung auch bei exakt gekreuzten Nikols. Die Angaben stammen aus der Zeit, als der Boulangerit noch für rhombisch angesprochen wurde. Nach L. G. BERRY [1] hat der Boulangerit monoklinen Charakter. Die Nadelachse bleibt c-Achse. Von den Angaben über Bireflexion bleiben dann nur noch die Farbwerte // c und // b bestehen. Die dunkelste Bireflexionsfarbe grüngrau fällt nicht mehr mit der kristallographischen a-Achse zusammen, da diese nach der neuen röntgenographischen Bestimmung einen von 90° verschiedenen Winkel mit der c-Achse bildet.

1. *Im Schliff parallel der Gangwand und parallel der linearen Richtung* zeigt der Boulangerit allenthalben einen balkenförmigen Umriß, der ihn schon ohne + N bei den üblichen Trockensystemvergrößerungen trotz der Kleinheit vom rundlichen Bournonit und dem Fahlerz unterscheidet. Bei Ölimmersion beobachtet man eine deutliche Bireflexion. Parallel der kurzen Seite des Balkens grüngraue, manchmal bis weißgraue Farbe, senkrecht dazu, also parallel der Längserstreckung, hellweiß mit leicht grünlichem Stich, fast so hoch reflektierend wie Bleiglanz, von diesem kaum der Härte nach verschieden und in dieser Lage leicht zu übersehen. Die grüngraue Farbe parallel der kurzen Seite des Balkens ist hinwiederum ähnlich den hellen Bireflexionstönen des Bournonites und der Farbtönung des Fahlerzes. Vor Verwechslung mit diesen schützen die starke Bireflexion des Boulangerites und seine andersartigen Anisotropieeffekte. Auch zeigt der Boulangerit keine Verzwillingung. In den Fällen, wo Boulangerit senkrecht zu einer

Windungsachse getroffen wäre, wird die Unterscheidung von Fahlerz und den wenigen, unverzwilligten Bournoniten unsicher.

Die Längserstreckung von 150 Boulangeriten wurde in dieser Schlifflage parallel der linearen Richtung und parallel der Gangwand vermessen. Sie stimmt mit der scharfen Auslöschrichtung und der Richtung maximaler Helligkeit der Bireflexion überein. 80% sind genau parallel der Längserstreckung der Bleiglanze gelegen. Die anderen Boulangerite schwanken um diese Lage 10° nach rechts und 10° nach links. Auf die Wiedergabe eines Diagramms kann wegen der leichten Vorstellbarkeit verzichtet werden. Die Einregelung ist so straff, daß die Mehrzahl der Boulangerithäckchen in einem Gesichtsfeld bei + N gemeinsam aufleuchten und gemeinsam auslöschen. Die kurze Balkendimension zeigt, wie eingangs schon vermerkt, nicht immer nur den dunkelsten graugrünen Ton, sondern auch manchmal eine wesentlich hellere Reflexionsfarbe. Die kristallographische *b*-Achse hat mithin eine Rotationstendenz um die lineare Richtung des Gefüges.

2. *Im Schnitt ungefähr  $\perp$  zur Gangwand und parallel zur linearen Richtung* hat der Boulangerit ebenfalls balkenförmige Umrisse. Bei einer großen Anzahl von Individuen ist die Bireflexion noch immer deutlich. Der hellweiße Ton mit leicht grünlichem Stich ist auch hier parallel der langen Kante orientiert, der zweite weißgraue senkrecht dazu. Einige Individuen zeigen Übergänge dieses weißgrauen Farbtone zu einem graugrünen. Die *b*-Achse des Kristalls rotiert in geringem Ausmaß um die *c*-Achse, die parallel der linearen Richtung liegt, was bei der Beschreibung der Schlifflage // *G* schon erwähnt wurde. (Es sei noch vermerkt, daß in dieser Schlifflage scharfe Auslösung schwer zu erhalten war. Leider konnte ich in einfarbigem Licht nicht beobachten.)

3. *In der Ebene  $\perp$  zur linearen Richtung* beobachtet man fast nur linsenförmige Querschnitte und nur manchmal auch solche mit einem Rhombus. Ich möchte hier für Gefügeunkundige die an sich triviale Feststellung wiederholen, daß man bei starker Einregelung einer bestimmten Kristallform erst bei mehreren Schnittlagen etwas Sichereres über die Kornform aussagen kann [3]. Im vorliegenden Fall zeigt sich also durch die Beobachtung dreier Schnittlagen, daß die Boulangerite keine ausgesprochene Flächenbegrenzung besitzen.

Im linsenförmigen Querschnitt hat die längste Symmetrale den graugrünen Ton und die kürzere den weißgrauen. In einigen Individuen herrschen umgekehrte Verhältnisse. Die beiden Symmetralen der Querschnitte zeigen nur einen geringen Längenunterschied.

*Zusammenfassend* läßt sich über Form und Einregelung der Boulangerite folgendes sagen: Die langgestreckten Kristalle haben keine exakte Flächenbegrenzung parallel der Längsachse, deren Dimension zwischen 30 und 50  $\mu$  schwankt. Manchmal zeigen die Kristalle Balkenform. Häufig sind sie wie Spindeln zugespitzt. Die Ebene (010), Spaltebene des Boulangerites, wird bevorzugt parallel der Gangwand eingeregelt. Eine gewisse Rotationstendenz um die der linearen Richtung parallelen *c*-Achse des Kristalls ist vorhanden. (010) des Boulangerites ist also in einem Gürtel um die lineare Richtung angeordnet, und zwar mit bevorzugter Häufung parallel der Gangwand. Die einzelnen Individuen sind, wie schon vermerkt, statistisch über das Gefüge verstreut. Es sind keine Ansätze zur Anordnung in Ketten oder Flächen vorhanden. Es muß ausdrücklich

auch betont werden, daß die Lage des einzelnen Individuums von der Orientierung der Bleiglanzstengel keine Notiz nimmt, was zunächst denkbar gewesen wäre.

Ich halte den Boulangerit auch aus anderen, hier nicht anführbaren Beobachtungen für ein Deformations- bzw. ein tektonisches Entmischungsprodukt aus dem Bleiglanz. Seine scharfe Einregelung, die mit den Raumkoordinaten des Wirtskristalls Bleiglanz in keiner Beziehung steht, ist vielleicht mit der Annahme zu erklären, daß nach der erfolgten Entmischung die Beanspruchung im gleichen Sinne weiter angehalten hat.

### *II. Das Verhalten des Bournonites gegenüber den umformenden Kräften.*

Der Bournonit ist der einzige Gefügebestandteil, der in keiner der Schnittlagen eine bevorzugte Gestalt aufweist. Selbst die mit dem bloßen Auge ungerichteten Haufwerke von Spateisen zeigen im Mikroskop linsenförmige Zerlegungen.

Die isometrischen Querschnitte der Bournonitkörper haben einen Durchmesser von 10—30  $\mu$ . In den drei Schnittlagen zeigen sie keine Ansätze zu idiomorphen Begrenzungen. Sie sind etwa gleich häufig wie die Boulangerite und ebenso wie diese statistisch über die Bleiglanzstengel verteilt. Der größere Prozentsatz zeigt lamellare Verzwilligung mit meist nur zwei Lamellen. Ein ausnehmend großes Individuum, das auch stark in der linearen Richtung gelängt ist, zeigt 15 Lamellen. In allen drei Schnittlagen zeigen noch nicht 6% aller verzwilligten Bournonite zwei verschieden verlaufende Zwillingspuren.

1. *Im Schnitt parallel zur Gangwand* haben von den 120 vermessenen Bournoniten nur 83 Zwillingslamellen, deren Spuren bevorzugt parallel der linearen Richtung liegen. Lediglich 5 Individuen sind nach zwei verschiedenen Ebenen verzwilligt. Die Bournonite ohne Lamellen sind möglicherweise parallel zur Schliffebene verzwilligt, was sich in Schnitten senkrecht zu  $G$  in einer besonderen Häufung der Zwillingstracen parallel der Spur von  $G$  äußern muß, welcher Umstand tatsächlich beobachtet wurde.

2. *Im Schnitt ungefähr  $\perp$  zur Gangwand und parallel zur linearen Richtung* zeigen 154 Bournonite Verzwilligung, 40 der beobachteten nicht, was nicht ausschließt, daß letztere mit ihren Lamellen parallel der Schlifffläche liegen.

3. *Im Schnitt  $\perp$  zur linearen Richtung* verlaufen die Zwillingspuren im allgemeinen beliebig mit leichter Bevorzugung der Richtung parallel der Spur von  $G$  und senkrecht dazu.

*Zusammenfassend* läßt sich über die Lage der Zwillingslamellen mithin sagen, daß eine leichte Bevorzugung parallel  $G$  und parallel der linearen Richtung, aber senkrecht zu  $G$  beobachtbar ist. Wenn man annehmen darf, daß Verwachsungsebene und Zwillingsebene bei den beobachteten Bournonitkristallen identisch sind und die Zwillingsebene die Prismenfläche (110) ist, dann könnte man eine kristallographische Aussage machen, nämlich über die Lage der Projektion einer [110]-Richtung in der Schliffebene. Sie steht senkrecht zur Spur. Der Fall, daß [110] selbst in der Schliffebene liegt, also die Zwillingsebene senkrecht zur Schliffebene steht, scheint dann gegeben, wenn symmetrische Auslöschung in beiden Lamellen vorhanden ist. Zur Feststellung symmetrischer Auslöschung müßten die Nikols scharf gekreuzt sein. Die verhältnismäßig schwachen Anisotropieeffekte

erlauben aber keine sehr exakt gekreuzten Nikols. Wenn die Bireflexion stärker wäre, etwa so auffallend wie bei Boulangerit, könnte man eine senkrechte Lage der Zwillingsebene zum Schluß dann annehmen, wenn beim Drehen der lamellaren Bau in dem Augenblick nicht mehr beobachtbar wäre, wo die Spur parallel der Schwingungsrichtung des Polarisators verläuft. Der Farbeindruck der Reflexion könnte dann in allen Lamellen derselbe sein. Bei Messungen nach diesen Gesichtspunkten hätte man in Anbetracht der geringen Bireflexion und der Schwäche der Anisotropieeffekte mit großen Meßfehlern zu rechnen. Für den Fall, daß zwei Spuren da sind, kann man nur die Projektion zweier [110]-Richtungen einzeichnen, die Richtung der *c*-Achse bleibt unbestimmt. Nur dann, wenn die zwei Spuren rund 86°, also den Winkel von (110) zu (110) einschließen, ist die kristallographische *a*-, *b*- und *c*-Achse bestimmbar — immer vorausgesetzt natürlich, daß beide Verzwilligungen dem gleichen Verzwilligungsgesetz gehorchen. Daß man nicht ohne weiteres annehmen kann, daß die gleichen Zwillingsgesetze, die an nicht verformten Kristallen beobachtet wurden, auch bei der Deformation der Kristalle eine Rolle spielen, und daß sogar im Experiment gefundene Gleitzwillingsgesetze nicht mit den in der Natur vorkommenden übereinstimmen müssen, lehrt das Beispiel eines deformierten Flußspatgefüges [2]. Angesichts der beobachtbaren Verhältnisse ist es nicht möglich, eine Aussage zu machen, ob der Bournonit rekristallisiert ist oder nicht. Es läßt sich ja noch nicht einmal feststellen, wie er auf die Deformation reagiert hat, ob durch Rollung oder durch Zwillingsbildung. Jedenfalls zeigt er in keinem Individuum verbogene Zwillingslamellen.

Wahrscheinlich ist der Bournonit gleich wie der Boulangerit ein tektonisches Entmischungsprodukt aus dem Bleiglanz. Die bevorzugte Lage der Zwillingslamellen tautozonal zur linearen Richtung läßt ein Anhalten der Beanspruchung nach der Entmischung vermuten. Deshalb und aus Gründen der Einregelung des Boulangerites halte ich die lineare Richtung, die durch die Bleiglanzstengel und die Kornform des Boulangerites repräsentiert wird, für ein *B* im Sinne SANDERS.

### III. Das Bleiglanzgefüge.

Beim Bleiglanz, dem weitaus wichtigsten Gefügegenossen des Aggregates, gelang nun eine vollkommene statistische Lageerfassung in allen drei Anschliffrichtungen. Um Fehler zu vermeiden, die im Gesamtregelbild bei einer statistischen Vermessung durch Kornauslese entstehen, war notwendig, daß Korn für Korn vermessen werden konnte. Es mußten also in jedem Korn Spaltausbrüche erzeugt werden. Das erforderte besondere Maßnahmen bei der Präparation und ganz bestimmte Ätzmethoden, die in einem Prozeß sowohl Ätzspaltbarkeit als auch Korgrenzen- und womöglich noch Kornflächenätzung erzeugen sollten. Die Ätzspaltbarkeit zieht sich meist über das ganze Korn und erlaubt so zu beurteilen, ob dort, wo ein Bereich ohne Spaltausbruch ist, noch dieselbe Kornlage besteht oder ein neues Bleiglanzkorn vorhanden ist, das keinen Spaltausbruch zeigt.

Die Kenntnis der subjektiven Meßfehler in der Einmessung der Würfelspuren ist eine notwendige Voraussetzung beim Beginn jeder Lagekonstruktion. Es ziehen z. B. gleiche Fehler in der Einmessung der Würfelflächen spuren je nach Lage des Korns mehr oder weniger große Ungenauigkeiten in der Lagebestimmung nach sich. Über die gesamten Probleme der Vorrichtung bzw.

Präparation und der Vermessung soll an anderer Stelle ausführlich berichtet werden. Es sei in diesem Zusammenhang auf den Beitrag von D. KORN im Lehrbuch der Erzmikroskopie von SCHNEIDERHÖHN-RAMDOHR, Bd. 1, 1. Hälfte, hingewiesen, in dem die Vermessung von würfelig spaltenden Erzen behandelt wird.

Bei der Vermessung war einerseits Voraussetzung, daß kein Korn ausgelassen wurde. Andererseits genügte es nicht, die Einmessung ohne Berücksichtigung der Lage der Körner zueinander vorzunehmen. Man erfährt bei dieser Art des Vorgehens nichts über einen Regelungsmechanismus. Schon bei den ersten Versuchen der Bestimmung von Kornlagen an opaken Aggregaten kam ich zur Einsicht, daß eine genaue Berücksichtigung der Lage der

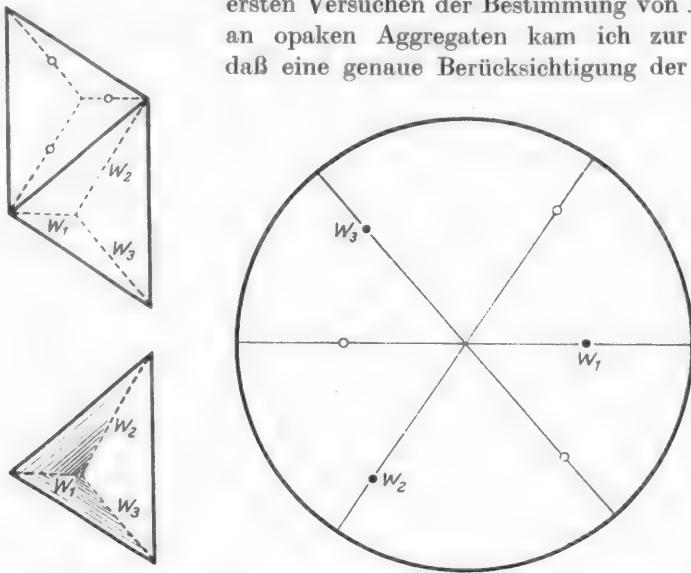


Abb. 2. Konstruktion der Würfelpole bei gegebenen Spuren der Spaltbarkeit (links oben, 2 Lösungen) oder bei Vorhandensein von Spaltausbrüchen (links unten, Lösung eindeutig  $w_1, w_2, w_3$ . Projektion der unteren Halbkugel).

vermessenen Körner zueinander befriedigendere Resultate zeitigen würde (1934). Es ist dies Vorgehen zu vergleichen mit den „Achsenverteilungsanalysen“, die SANDER in [5] S. 154 fordert und die z. B. in der Arbeit RAMSAUERS [4] zu schönen Erfolgen führten.

Es kam also bei der Lagebestimmung nicht nur darauf an, jedes Korn zu vermessen, sondern es war notwendig, genau darauf zu achten, welche Lagekoordinaten benachbarte Körner zueinander haben. Zu diesem Zweck wurde der jeweilige Anblick des Gesichtsfeldes zeichnerisch festgehalten, die Individuen ungefähr in ihren Umrissen gezeichnet und mit Nummern versehen. Bei den langgestreckten Körnern der beiden Schnittlagen parallel der linearen Richtung gelang dies trotz der Kleinheit der Stengel unschwer wegen der langgestreckten Form und weil besonders gestaltete Umrisse anderer Gefügegenossen immer wieder im Blickfeld erscheinen. Im Schliff senkrecht zur linearen Richtung war das Unterfangen schwierig. Der Querschnitt war stets gleichförmig rund oder linsenförmig und sehr klein dimensioniert.

Die zeitraubende Bestimmung der räumlichen Lage benachbarter Körner zueinander hat bei Gefügeuntersuchungen stets gute Gründe für sich. In dem

vorliegenden besonderen Fall war anzunehmen, daß das für Bleiglanzaggregate ungewöhnlich feine, lineare Gefüge dadurch entstanden ist, daß ein großer kristallines Haufwerk stark deformiert wurde und nachher rekristallisierte. Es war also zu erwarten, daß eine mehr oder weniger große Anzahl sich berührender Individuen ursprünglich einem größeren einheitlichen Kristall zugehörten.

Die *Lageeinmessung* selbst erfolgte auf konstruktivem Weg mit Hilfe des flächentreuen Netzes. Sind die Spuren aller Würfelflächen vorhanden, so ist die eigentliche Lagebestimmung sehr schnell durchgeführt. (Der Aufwand an Zeit ist geringer als der, den die Vermessung eines optisch zweiachsigen Kristalls mit dem Universaldrehtisch erfordert.) Die zu den Würfelflächen gehörenden Normalen liegen auf einer Senkrechten zu diesen Spuren. Man zeichnet die zwei Senkrechten auf das Pausblatt und hat somit schon je einen geometrischen Ort für die Normale der Würfelflächen. Die dritte Senkrechte bringt man durch Drehen parallel dem Äquator des Netzes. Derjenige Großkreis, auf dem die anderen beiden Senkrechten den Winkel von  $90^\circ$  abschneiden, ist dann der geometrische Ort für die beiden Würfelpole bzw. seine beiden Schnittpunkte mit den Senkrechten sind zwei der gesuchten Würfelnormale. Der Pol dieses Großkreises ist die Normale der dritten Würfelfläche. Wenn nun nur die Spuren der Würfelfläche vorhanden sind, so ist die Lösung zweideutig, denn es gibt außer diesem Großkreis noch einen zweiten Großkreis, auf dem die Senkrechten ebenfalls einen Winkel von  $90^\circ$  abschneiden. Die Lage wird erst dadurch z. B. eindeutig, daß in Spaltausbrüchen das Einfallen der Würfelkanten sichtbar wird (Abb. 2). Es ist somit wichtig, in jedem Korn Spaltausbrüche zu erzeugen. Es ist aber zusätzlich auch unbedingt notwendig, in jedem Korn durch Ätzung den Verlauf der Würfelspuren herauszupräparieren, da durch Polieren des Schliffes sich gern die Ränder der Spaltausbrüche verschmieren bzw. aus den geraden Linien der Dreiecksbegrenzung leicht gebogene Kurven werden (Abb. 3), die Ätzspaltbarkeit dagegen stets scharf die wirkliche Spur der Spaltbarkeit abzeichnet. Die zusätzlich zum Spaltausbruch erzeugte Ätzspaltbarkeit macht also die Ungenauigkeit wett, die durch das Verschmieren der Ränder der Spaltausbrüche eintreten würde.

Nachdem nun die Lage der drei Würfelflächen eingezeichnet ist, versieht man sie mit der dem Individuum zukommenden Nummer. Diese Bezifferung muß auf jeden Fall durchgeführt werden, auch wenn man keine Lagebeziehung der Körner zueinander untersuchen will. Sie hat deswegen zu erfolgen, weil man noch die Lage anderer wichtiger Flächen und Richtungen des Bleiglanzes beurteilen

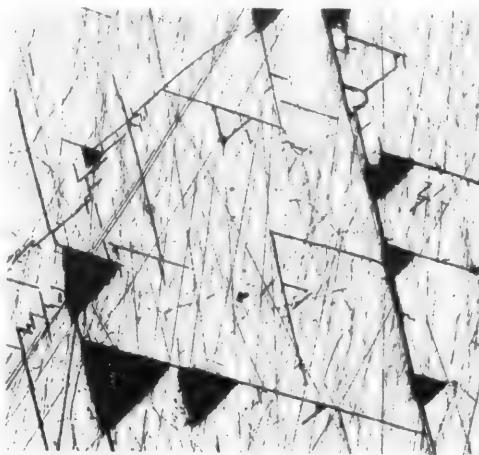


Abb. 3. Ätzspaltbarkeit neben Spaltausbrüchen im Bleiglanz. Die Ränder der Spaltausbrüche sind durch mehrfaches Polieren verschmiert, die Ätzspaltbarkeit dagegen ist richtungskonstant und langanhaltend.

will und zur Konstruktion derselben die Zusammengehörigkeit der drei Würfelspuren kennen muß. Es kann sein, daß z. B. die Einregelung nach (111) oder (110) sehr viel straffer erfolgt. Zwei Körner, die in Zwillingssstellung (111) stehen, haben z. B. die als Zwillingsebene funktionierende Oktaederebene gemeinsam und je drei Richtungen [110]. Wenn man also nach der Vermessung des Schliffes lediglich Punkthaufen von Würfelflächen ohne Kenntnis ihrer Zusammengehörigkeit hat, so kann man bei unserem Beispiel vielleicht sagen, daß ein Maximum von (100) Flächen von der linearen Richtung um einen gewissen Winkelbetrag abweicht. Diese Aussage ist aber unbefriedigend angesichts der vielen Deformationsmöglichkeiten des Bleiglanzes bzw. der vielen Antworten, die das Bleiglanzgitter auf Beanspruchung von außen zu geben bereit ist. Wenn wir also die Lage der Oktaederflächen und die der Rhombendodekaederrichtungen wissen sollen, muß die Zusammengehörigkeit der drei vermeßbaren Würfelflächen eines Kristalls durch gleiche Bezifferung gekennzeichnet sein. Die Kennzeichnung als Würfelfläche geschieht am besten noch zusätzlich mit der gleichen Farbe.

Bei gegebener Lage der Würfelpole läßt sich die Konstruktion der vier Oktaederflächen und der sechs Rhombendodekaederflächen schnell durchführen (Beibehaltung der gleichen Ziffer, Benutzung einer anderen Farbe). Am zweckmäßigsten erfolgt die Konstruktion nicht nach jeder Neueinmessung — das würde das Mehrfache an Handgriffen verlangen und daher viel mehr Zeit erfordern —, sondern nach Vermessung von 10 Individuen, die mit ihren 30 Würfel-, 40 Oktaeder- und 60 Rhombendodekaederflächen gerade ein Pausblatt genügend auslasten. Der Kundige sieht schon vor der Konstruktion der (111)- und (110)-Flächen an der Lage der Würfelflächen benachbarter Individuen oder solcher, deren Lageverhältnis ihn besonders interessieren, welchem Verzwilligungsgesetz oder sonstigem Lagegesetz ihre räumlichen Koordinaten gehorchen.

Nachdem nun die Boulangerite eine straffe Einregelung ihrer *c*-Achse in die lineare Richtung des Gefüges aufwiesen mit tautozonaler Anordnung der als Spaltfläche fungierenden (010)-Fläche im Gürtel senkrecht zu *B*, wurde die Vermessung der Bleiglänze mit steigender Spannung durchgeführt. Die Einregelung einer so hoch symmetrischen Kristallart bei bestimmter Beanspruchung ist noch nicht häufig Gegenstand einer Untersuchung gewesen (von den Versuchen bei Salz abgesehen, nur noch in einem Fall bei Flußspat). Der Bleiglanz verhält sich, wie eingangs erwähnt, dem Lagebestimmungsversuch gegenüber nicht ablehnend. Er hat dagegen eine andere Eigenschaft, die der Klärung der bei der tektonischen Beanspruchung einsetzenden Deformationsmechanismen sehr hinderlich ist, nämlich seine hohe Symmetrie. Die Richtungen, nach denen er translatiert, scheinen zahlreich, die Ebenen, nach denen er verzwilligt, desgleichen und die Zonen, um die er sogar schon vor jeder Beanspruchung wackelt, mannigfach.

Es wurden in allen drei Anschliffebenen statistische Untersuchungen über die Lage der einzelnen Bleiglanzkristalle im Raum und zueinander durchgeführt, wovon die Resultate der Messungen in zwei Anschliffebenen genauer besprochen werden sollen. Dadurch, daß eine Übersichtskarte mit durchnumerierte Einzelbereichen angefertigt wird und man gezwungen ist, die Zahl der auf dem Pausblatt aufgetragenen Individuen auf 10 zu begrenzen, um somit die Darstellung

der (111)-Flächen und (110)-Flächen noch übersichtlich zu halten, läßt sich bald feststellen, ob der untersuchte Gefügebereich homogen oder inhomogen geregelt ist. Es läßt sich daher auch bald schon abschätzen, mit welcher Kornzahl man für die Erkennung der Regelung auskommen wird. In dieser kurzen Veröffentlichung ist es nicht möglich, den zum Verständnis wichtigen Einzelschritten im Verlauf der Vermessung nachzugehen. Auch muß ich es mir versagen, an Hand von Einzeldiagrammen zu verdeutlichen, was in der Summe sich überlagert hat. Einige wenige Übersichtsdiagramme sollen hingegen die Frage nach der Lage der Einzelkristalle zu den makroskopischen Gefügedaten (lineare Richtung, Parallelfläche zur Gangwand) beantworten und einige andere Diagramme sollen eine Aussage über die Lage der Einzelindividuen zueinander machen. Bei der Wiedergabe der Diagramme wurde bewußt auf die übliche Darstellung in Besetzungsdichtekurven verzichtet. Sobald man nämlich 3, 4 oder gar 6 gleichartige kristallographische Daten von einem Individuum allein darstellen muß, ist die Einzeichnung anderer Zusammenhänge zwischen den einzelnen Punktlagen wesentlich wichtiger als die Auswertung in Besetzungsdichten, was aus dem folgenden noch erhellt.

1. Für die Schnittlage parallel zur Gangwand und parallel B zeigen die Diagramme 1, 2 und 3 die Übersicht über die Verteilung der Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederpole von 200 Bleiglanzstengelchen. Einige Hauptbereiche der Zusammengehörigkeit, die uns im folgenden noch näher interessieren, sind durch Kurven umschlossen und mit römischen Ziffern versehen. Man sieht, daß nur ganz wenige Pole außerhalb dieser Umgrenzungen fallen, was bei einem in Besetzungsdichtekurven ausgewerteten Diagramm nicht deutlich würde. Eingezeichnet sind noch Großkreise, von denen drei durch einen Punkt gehen, der wiederum Pol des 4. Großkreises ist. Der Schnittpunkt dieser drei Großkreise repräsentiert die Zwillingsebene (111) der Bereiche II und I.

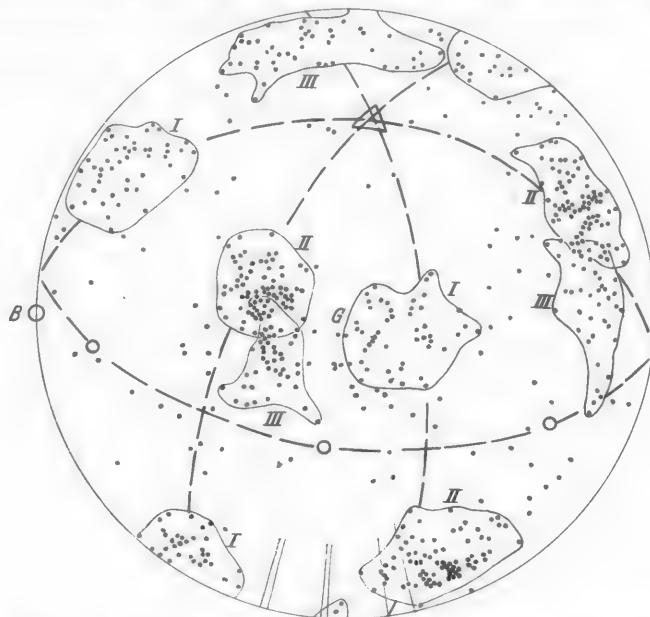
Auf dem zu dieser gemeinsamen (111)-Fläche senkrechten Großkreis ist in Form kleiner Kreise die Lage von drei (211)-Flächen eingetragen, die ebenfalls als Zwillingsebenen der beiden Bereiche I und II in Frage kommen. B stellt die Projektion der linearen Richtung dar, G die der Gangwand. Die senkrecht zu B am Rande des Diagramms eingezeichneten Linien sind Spuren einer wiederholt auftretenden Rissigkeit.

In den Diagrammen 1, 2 und 3 kommt klar zum Ausdruck, daß sowohl die (100)- als (111)- und (110)-Flächen straff geregelt sind. Würde man von drei Würffelflächen aller Individuen nur eine einzeichnen, und zwar diejenigen, die am nächsten zusammenliegen, so ergäben sich so straffe Regelungsbilder, wie man sie nicht einmal von Glimmer in S-Tektoniten gewöhnt ist. Eine solche Auswahl in der Darstellung zu treffen, ist aus leicht einzusehenden Gründen abzulehnen.

Um die Lagebeziehungen der Großbereiche I, II und III übersichtlicher darzustellen, wurden in Einzeldiagrammen für je zwei Bereiche die jeweiligen Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederlagen dargestellt.

Im Diagramm 4 repräsentieren die Bereiche II und III die Lagebeziehungen zweier Bleiglanzstengel, die das eingangs erwähnte *Fischgrätenmuster* erzeugen. Auf die Eintragung der Flächenpole ist hier verzichtet, da

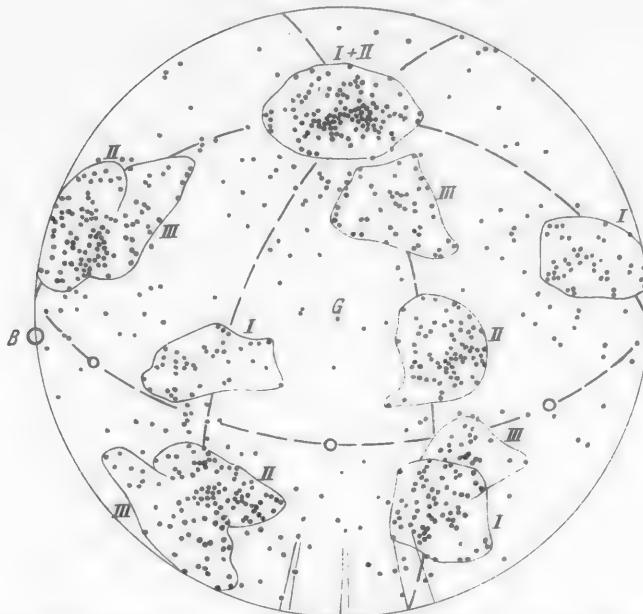
außer den Würfelflächenpolbereichen auch noch die der Oktaeder- und Rhombendodekaederflächen eingezeichnet wurden. Die zum Überindividuum III gehörenden Flächenpole sind schraffiert. Würfelpolbereiche sind sowohl für II als für III mit starker Linie eingezeichnet, Oktaederbereiche lang gestrichelt und Rhombendodekaederhäufungen gepunktet. Die beiden Überbereiche II und III liegen symmetrisch zur linearen Richtung bzw. zeigen zu einer zu  $G$  senkrechten Ebene, die der linearen Richtung fast parallel verläuft, spiegelbildliche Lage. Beide Überindividuen haben einen gemeinsamen (110)-Bereich. Durch diesen



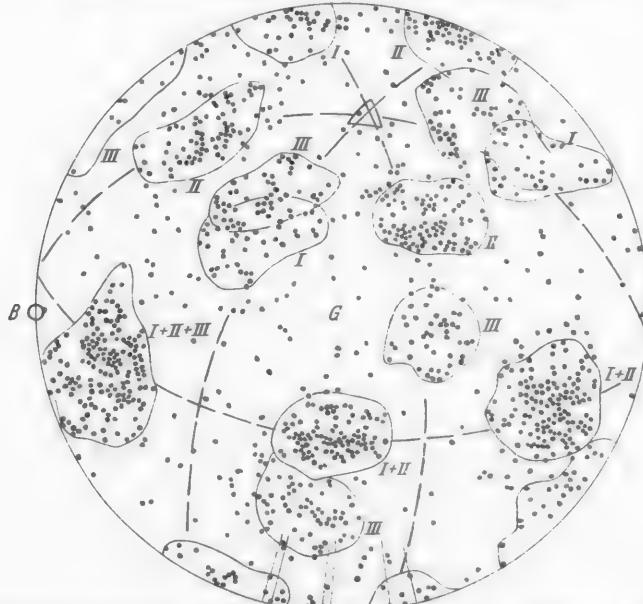
D 1. Projektion (untere Halbkugel) von 600 Würfelflächen im *Schliff parallel der Gangwand und parallel der linearen Richtung*. Diese gehören zu 200 vermessenen Bleiglanzstengelchen. Die Kennzeichnung der zu den einzelnen Bleiglanzindividuen gehörenden drei Würfelflächen durch die gleiche Ziffer wurde wegen der Kleinheit der Diagrammwiedergabe weggelassen. Dagegen konnten ohne Beeinträchtigung der Übersichtlichkeit alle diejenigen Punkte mit Kurven umgeben werden, die ähnliche Raumkoordinaten haben. Die mit Kurven umgebenen Bereiche sind in ihrer Zusammengelörigkeit durch gleiche Ziffern gekennzeichnet. Es gehören also z. B. zu jedem mit I bezeichneten Bereich ungefähr gleichviele Punkte, und jede durch einen Punkt dargestellte Würfelfläche des einen Bereiches hat die zu ihr gehörenden zwei anderen Würfelpole in den beiden anderen ebenfalls mit I bezifferten Bereichen. Die durch den Bereich I zusammengefaßten Würfelpole gehören nicht etwa zu Individuen, die räumlich aneinandergrenzen, sondern sind über die ganze Schlifffläche verteilt, wie eine hier nicht zur Wiedergabe gelangte Übersichtsskizze der Kornschnitte im Schliff zeigt. Es gilt für D 1 bis D 9:  $G$  Pol der Gangwand,  $B$  Projektion der linearen Richtung.

gemeinsamen (110)-Bereich und senkrecht zur oben erwähnten Symmetrieebene verläuft noch eine Symmetrieebene für beide Lagen. Die dritte SpiegelEbene läge dann zu den beiden anderen senkrecht. Die Lage der beiden Bereiche repräsentiert ungefähr eine Zwillingssstellung nach (552).

Die Lage I zu II ist ganz eindeutig durch die Verzwilligung vieler Bleiglanzstengel mit gleichen Raumkoordinaten nach dem Gesetz (111) bzw. (211) zustande gekommen. Die beiden Überbereichen gemeinsame (111)-Fläche liegt  $\perp B$ , ebenso eine der drei möglichen (211)-Flächen. Für die Lagesituation I und II ist aus Raummangel kein gesondertes Diagramm beigegeben. Die Lageverhältnisse sind



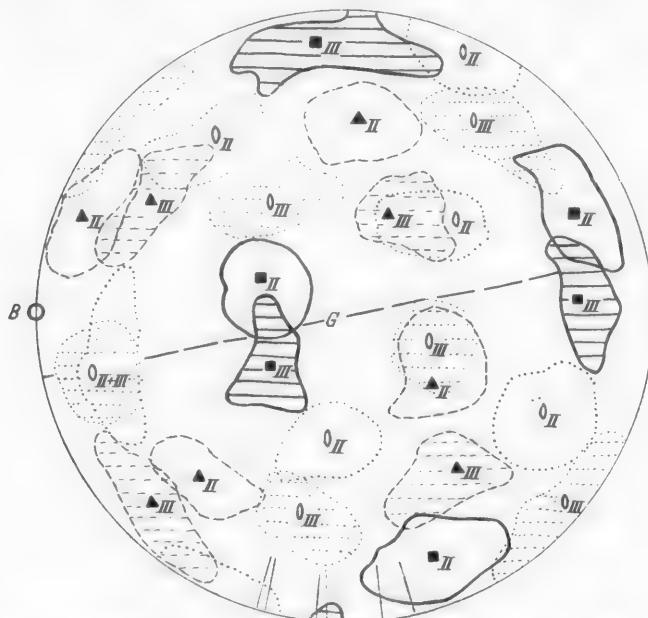
D 2. Projektion (untere Halbkugel) von 800 Oktaederflächen, deren Lage durch Konstruktion aus den in D 1 gegebenen Würfelpolen ermittelt wurde. (*Schliff parallel der Gangwand und parallel der linearen Richtung.*) Auch hier gehören ungefähr gleichviele Punkte zu jedem mit der gleichen Ziffer versehenen durch Umkurven gekennzeichneten Bereich und jeden der z.B. mit I bezeichneten Bereiche enthält je einen Oktaederpol von den vier zu einem Individuum gehörenden Oktaederflächen. I und II besitzen je einen zusammenfallenden Oktaederbereich. Die beiden Bereiche I und II befinden sich in Zwillingssstellung nach (111) bzw. (211), was auch schon aus der Lagesituation der Würfelpole in D 1 hervorgeht.



D 3. 1200 Rhombendodekaederpole von insgesamt 200 Bleiglanzindividuen im *Schliff parallel der Gangwand und parallel der linearen Richtung.* Sie sind, wie die in D 2 dargestellten Oktaederpole durch Konstruktion aus den an Spaltausbrüchen eingemessenen Würfelflächen hervorgegangen. Auch hier gilt, wie für D 1 und D 2: mit gleicher Ziffer versehene Bereiche enthalten ungefähr gleichviel Punkte. Die zu einem Individuum gehörenden sechs Rhombendodekaederflächen finden sich jeweils in Bereichen mit gleicher Ziffer. Die Individuen eines Überbereiches liegen räumlich nicht nebeneinander.

auch aus den Diagrammen 1, 2 und 3 ersichtlich. Man denke sich die jeweiligen Bereiche III weggestrichen. Hingewiesen sei auch auf die durch eine Verzwilligung nach (111) in der Ebene senkrecht dazu auftretenden drei Maxima von (110)-Flächen, die durch das gesetzmäßige Auseinanderfallen je zweier (110)-Flächen der beiden Individuen zustande kommt.

Die Lage I zu III (Diagramm 5) ist, wie ich an vielen anderen Bleiglanz-aggregatmessungen feststellen konnte, eine sehr häufig auftretende Lage.

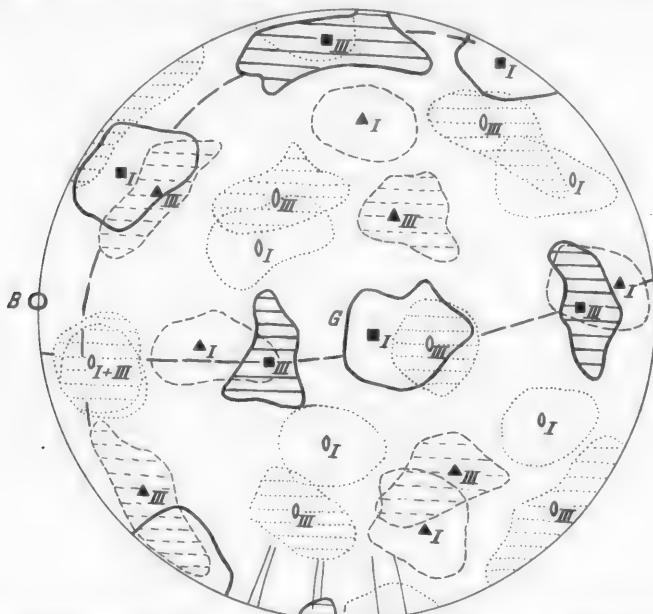


D 4. Lage der beiden Bereiche II und III in bezug auf die Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederflächen. (Projektion der unteren Halbkugel.) Die in den Diagrammen D 1, D 2 und D 3 eingezeichneten Pole der Flächen sind der Übersicht halber hier weggelassen, da auf einem Diagramm die Lage aller drei Flächenarten eingezeichnet werden sollte. Die Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederpollagen von III sind schraffiert, die von II leer. Würfelpolbereiche sind in geschlossener Kurve umrahmt und mit dem Zeichen der vierzähligen Symmetriearchse versehen. Oktaederpolbereiche zeigen Stricheln und das Symbol der dreizähligen Symmetriearchse. Rhombendodekaederbereiche sind gepunktet und mit dem Zeichen der zweizähligen Symmetriearchse gekennzeichnet. Die Flächen (100), (111) und (110) von I liegen streng symmetrisch zu den gleichen Flächenarten von II. Symmetrieebene wäre z. B. eine zum Schliff senkrechte Ebene, deren Spur groß gestrichelt im Diagramm eingezeichnet ist. Senkrecht zu dieser Symmetrieebene und parallel zur Lage der beiden zusammenfallenden [110]-Richtungen in der Nähe von B läge eine zweite, nicht eingezeichnete Spiegelebene. II und III repräsentieren die Lage je zweier benachbarter Körner, die die im Text als Fischgrätenmuster gekennzeichnete Lage ergeben. Solche Kornpaare sind über den ganzen Schliff verteilt (Abb. 1).

kombination benachbarter Individuen. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß je 2 Würfelpole des einen Individuums mit einem des anderen auf einem Großkreis liegen, wobei die Distanzen der Einzelpole auf je einem Großkreis 40 und 50°, auf dem anderen 35—40° und 55—50° betragen. Am nächsten kommt diese Lagesituation einer Verzwilligung nach (111).

Alle Lagekombinationen sowohl I mit II als II mit III und I mit III besitzen eine gemeinsame Rhombendodekaederrichtung, die fast parallel der linearen Richtung liegt.

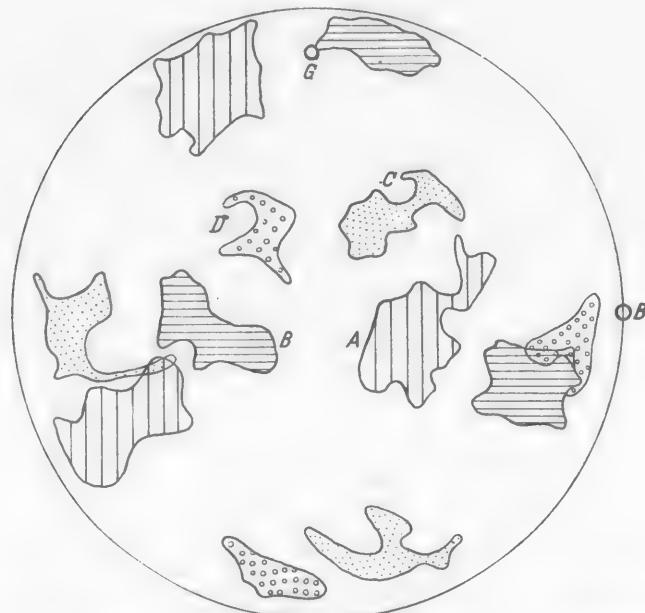
Die Lage der drei Hauptbereiche I, II und III kommen nicht etwa dadurch zustande, daß von Korn zu Korn nur die oben beschriebenen Lagesituationen auftreten. Es sind sehr häufig auch symmetrische Lagen vorhanden, die z. B. Zwillinge aus der Zone [001] darstellen, wobei die Verzwillingung nach (201) bevorzugt erscheint. Auch symmetrische Lagen zu (441) sind häufig. Der Durchmesser der einzelnen Bereiche ist bis zu  $40^\circ$  groß. Innerhalb dieser Bereiche sind die eben erwähnten symmetrischen Lagen möglich, ohne daß eines der beiden Individuen aus dem Bereich herauszufallen braucht.



D 5. Lage der Bereiche I und III hinsichtlich Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederflächen (Projektion der unteren Halbkugel). Die Flächenpole sind nicht eingetragen. Individuum III ist schraffiert. Würfelpolbereiche sind mit dem Zeichen der vierzähligen Achse versehen. Oktaederhäufungen sind gestrichelt umrandet und zeigen das dreizählige Achsenzeichen. Rhombendodekaederhäufungen sind umpunktet und mit dem Zeichen für zweizählige Achsen gekennzeichnet. Je zwei Würfelbereiche des einen Bereiches liegen mit einem des anderen auf einem Großkreis (dick gestrichelt) in Abständen von  $40^\circ$  und  $50^\circ$  bzw.  $35^\circ$  und  $55^\circ$ . Wie bei II und III (D 4) ist auch hier eine gemeinsame Lage von zwei [110]-Richtungen beider Bereiche in der Nähe von B vorhanden. Es fallen mithin (s. auch D 4) je eine [110]-Richtung von I, II und III nahe der Projektion von B aufeinander.

2. Die *Schlifflage parallel B und ungefähr  $\perp$  zur Gangwand* zeigt vier Hauptbereiche der Besetzung, von denen drei mit kleinen Winkelabweichungen identisch sind mit den Bereichen I, II und III der Schlifflage parallel der Gangwand, was durch eine Rotation des einen Diagramms in die Lage des anderen kontrollierbar ist. Diese zweite Schnittlage ist absichtlich nicht genau senkrecht zum ersten Schliff (parallel der Gangwand) gewählt, um die dort der Vermessung entgangenen Lagen mit z. B. (100) // G jetzt zu erfassen. Da die Spaltpuren aller Flächen aus der Würfelzone einen Winkel von  $90^\circ$  miteinander bilden, kann man bei diesen Schnittlagen nur *eine* Würfelkante einmessen. Mit der in [6] beschriebenen U-Tisch-Methode lassen sich auch diese Fälle lagenmäßig genau ermitteln.

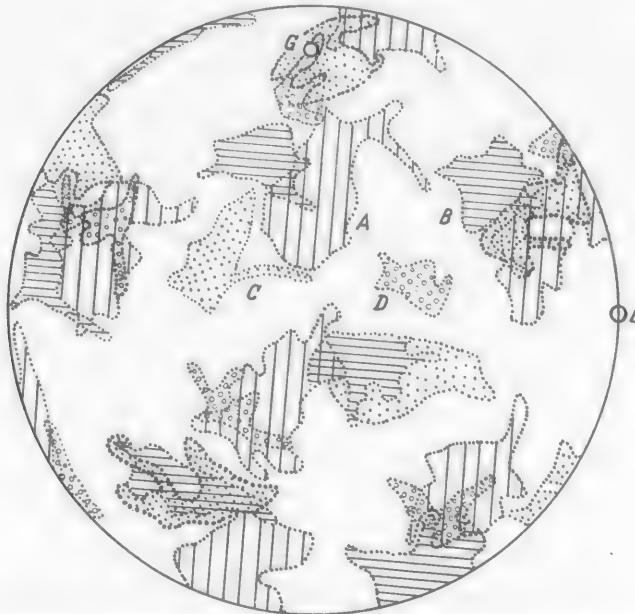
Von dieser Schnittlage sind die Bereiche der Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederflächen in den Diagrammen 6, 7 und 8 dargestellt (300 Blei-



D 6. Diagramm von Würfelpolen der 300 vermessenen Bleiglanzstengel im Schnitt parallel der linearen Richtung und ungefähr senkrecht zur Gangwand (Projektion der unteren Halbkugel). Auf die Einzeichnung der Flächenpole ist der Übersicht halber verzichtet. Zusammengehörende Bereiche gleicher Lagesituation sind durch Schraffur gekennzeichnet: Individuum A weit schraffiert, B engschraffiert, C gepunktet und D geringelt. (Einzelindividuen, die z. B. in den Bereich A fallen, sind nicht etwa benachbart, sondern über den Schliff statistisch verteilt.) Über die Lagebeziehung der einzelnen Bereiche untereinander s. Text S. 424.

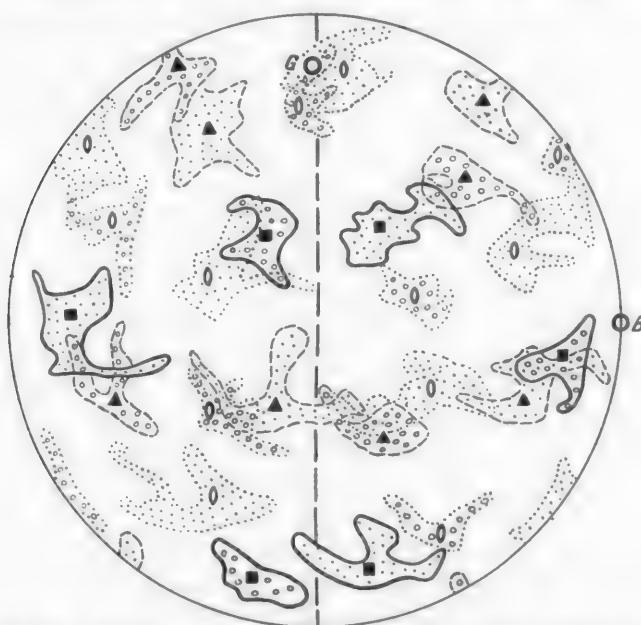


D 7. Die Bereiche zusammengehörender Oktaederpolhäufungen im Schnitt parallel der linearen Richtung und ungefähr senkrecht zur Gangwand, deren Lage aus den eingemessenen Würfelpolen (D 6) konstruiert ist (Projektion der unteren Halbkugel). Bereich A weit schraffiert, B engschraffiert, C gepunktet und D mit Ringen versehen. (Die in den gleichen Bereich fallenden Oktaederpole sind nicht räumlich benachbart.) Über die Lagebeziehung der einzelnen Bereiche untereinander s. Text S. 424.



D 8. Rhombendodekaederpolbereiche im Schliff parallel zur linearen Richtung und ungefähr senkrecht zur Gangwand (Projektion der unteren Halbkugel). Ebenso wie die Lage der Oktaederpole ist auch die der Rhombendodekaedersflächen aus den vermessenen Würfelpollagen konstruiert. Bereich A weitschraffiert, B engschraffiert, C gepunktet und D mit Ringen versehen. Über die Lagebeziehung von A, B, C und D untereinander s. Text S. 424.

A weitschraffiert, B engschraffiert, C gepunktet und D mit Ringen versehen. Über die Lagebeziehung von A, B, C und D untereinander s. Text S. 424.



D 9. Lagebeziehung der Bereiche C und D hinsichtlich deren Würfel-, Oktaeder- und Rhombendodekaederpole. Schnittlage parallel der linearen Richtung und ungefähr senkrecht zur Gangwand (Projektion der unteren Halbkugel). C ist gepunktet, D mit kleinen Kreisen gekennzeichnet. Das Zeichen der vierzähligen Achse bedeutet Würfelpollagen, das der dreizähligen Oktaederpollagen und das der zweizähligen Rhombendodekaederpollagen. Beide Bereiche liegen deutlich symmetrisch zur Ebene  $\perp B$ , deren Spur mit großen Strichen im Diagramm von oben nach unten eingezeichnet ist.

glanzkörper). Sie sind mit *A*, *B*, *C* und *D* bezeichnet und besonders signiert. Die Lagebeziehung der vier Hauptbereiche wäre in sechs Teildiagrammen darstellbar. Nach den für die Schnittlage  $\parallel G$  vorangegangenen Betrachtungen sei hier nur *ein* Teildiagramm, und zwar für die Lage *C* zu *D* beigegeben. Die anderen Lagesituationen sollen an Hand der Übersichtsdiagramme von 6, 7 und 8 diskutiert werden.

1. *A* und *B* stehen in Verzwillung nach (111) bzw. (211). Die beiden Bereiche sind lageidentisch mit I und II des Schnittes parallel der Gangwand.

2. *A* und *C* haben eine gemeinsame (111)-Fläche, um die das eine Individuum gegen das andere um  $30^\circ$  gedreht liegt. Dadurch kommen die senkrecht zu dieser (111)-Fläche liegenden drei Rhombendodekaederflächen beider Individuen um je  $30^\circ$  auseinander zu liegen (eine sehr häufige Lagebeziehung benachbarter Einzelkörper).

3. *A* und *D* stehen in Zwillingsstellung nach (111) bzw. (211).

4. *B* und *C* sind ebenfalls nach (111) bzw. (211) verzwilligt.

5. *B* und *D* haben eine sich berührende und teils durchdringende gemeinsame Würfelpollage und sind somit in Zwillingsstellung zu einer Fläche aus der Zone [001].

6. *C* und *D* haben eine im Diagramm 9 gesondert dargestellte symmetrische Lage zu den Raumdaten des Gefüges. Die Symmetrieebene liegt senkrecht zu *B*.

Von Interesse ist die Lage der gemeinsamen (111)-Flächen bzw. (211)-Flächen für *A* und *B*, *A* und *D* und *B* und *C*. Für *A* und *B* liegt die gemeinsame (111)-Fläche senkrecht zur linearen Richtung, eine der [211]-Richtungen parallel der linearen Richtung. Je eine (211)-Fläche von *B* und *C* und *A* und *D* liegt ebenfalls senkrecht zur linearen Richtung. Wenn die lineare Richtung ein *B* des Gefüges ist, dann scheint im Falle *A* zu *B* die Fläche (111) Zwillingsebene, für die Bereiche *B* und *C* und *A* und *D* dagegen die Fläche (211).

Die dritte Schnittlage  $\perp B$  bringt keine neuen Lagebeziehungen. Auf ihre Darstellung sei daher hier verzichtet.

Über die Lagebeziehung sowohl benachbarter Körner untereinander als größerer Bereiche zueinander lässt sich *zusammenfassend* folgendes sagen:

Aneinanderliegende Körner bevorzugen einige wenige räumliche Lagebeziehungen, die mit Zwillingsstellungen beschrieben werden können, z. B. nach (111), (211), (201), (441) usw. Das sog. Fischgrätenmuster, dargestellt durch abwechselnd gleich orientierte parallel aneinandergesetzte Lamellen (Abb. 1), ist beschreibbar mit einer Zwillingsstellung nach (552). Eine zweite Gruppe benachbarter Körner zeigt lediglich symmetrische Lage zu den Daten des Raumgefüges.

Größere Überbereiche, die mehrere über den ganzen Schliff verstreute Körner mit annähernd gleicher Raumorientierung umfassen, zeigen ebenfalls bevorzugt Lagen zueinander (D 1 bis D 9), die gleichfalls mit Zwillingsstellungen beschreibbar sind, z. B. nach (111) bzw. (211) oder (201). Auch hier zeigen Überbereiche symmetrische Lage zur linearen Richtung genau wie benachbarte Einzelkörper.

### D. Gefügesynthese.

Das sehr feinkörnige, aus bis zu 1 mm großen, straff parallel orientierten Stengeln von Bleiglanz aufgebaute und mit größeren Einsprenglingen von Spateisenen, Quarz und Kupferkies und mikroskopisch kleinen von Boulangerit und Bournonit versehene Erzagggregat zeigt ohne Zweifel ein Gefüge, das als Produkt vielleicht einmaliger Umformung mit nachfolgender Erholung anzusehen ist. (Die wenigen Quarz- und Spateisenkörner zeigen postkristalline Deformation.)

Die Einregelung der (010)-Flächen des Boulangerites, der ohne Lagebeziehung zum jeweiligen Wirkkristall den Bleiglanz schwarmartig überzieht, erfolgte in einem Gürtel senkrecht zur linearen Richtung mit bevorzugter Lage parallel der Gangwand. Die der kristallographischen *c*-Achse parallele stengelige, zigarrenähnliche, auch balkenartige Form der Boulangerite ist dadurch straff parallel der durch die Bleiglanzstengel dargestellten linearen Richtung eingeregelt. Warum die Boulangeritleisten sich innerhalb der doch verschieden orientierten Bleiglanzkristalle richtungskonstant halten, bedarf noch der Klärung. Der mikroskopisch kleinkörnige Boulangerit findet sich in Proben des gleichen Ganges hauptsächlich im feinkörnigen oder auch im verbogenen größer körnigen Bleiglanz. Vermutlich stellt er zusammen mit dem ebenfalls sehr feinkörnigen, den Bleiglanz siebartig durchlöchernden Bourronite ein tektonisches Entmischungsprodukt aus dem Bleiglanz dar. Die Einregelung der (010)-Fläche des Boulangerites tautozonal zur linearen Richtung läßt diese als *B*-Achse des Gefüges erscheinen.

Versucht man sich auf Grund der Lagekoordinaten und der Tatsache, daß ein scharfes lineares Gefüge vorliegt, ein Bild über den Verformungsmechanismus des Bleiglances zu machen, so stößt man auf mehrere Schwierigkeiten. Sicher ist zwar, daß der Bleiglanz präkristallin deformiert ist — unsicher dagegen, ob die jetzigen Raumdaten des Bleiglanzagggregates die gleichen sind wie vor der Rekristallisation und nach der Verformung. Ich könnte mir denken, daß an denjenigen Stellen des Gefüges die Rekristallisation zuerst einsetzt, wo die stärkste Gitterverbiegung vorliegt, und daß bei der Überholung alle anderen Lagen aufgezehrt werden unter Umorientierung nach diesen ersten Rekristallisationskeimen. Es entsteht so zwar ein geregeltes Rekristallisationsgefüge, dies hat aber nicht die gleichen Raumkoordinaten wie die Gefügeregelung nach der Verformung und vor der Überholung. Wäre die Ausgangssituation vor der Deformation bekannt, so ließen sich mit Hilfe des Rekristallisationsgefäßes Rückschlüsse auf den Mechanismus der Verformung machen. Immerhin könnte man für den Fall, daß es sich um eine erste deformative Umprägung handelt, ein normales Wachstumsgefüge zugrunde legen. Wachstumsgefüge sind studiert (Veröffentlichung folgt). Sie zeichnen sich durch eine starke Besetzung der Aufwachswand mit Würfelflächen des Bleiglances aus. Die beiden anderen senkrecht dazu liegenden Würfelpole zeigen keine bevorzugten Lagen.

Wie schon erwähnt, wird die lineare Richtung aus Gründen der Einregelung des Boulangerites für ein *B* im Sinne SANDERS angesprochen werden müssen. Sollte die Fläche (010) aber auch als Translationsfläche fungieren mit  $t = [001]$  wie bei Antimonglanz (alte Aufstellung), dann könnte die lineare Richtung auch ein Strömungs-*R* sein bzw. als Strömungsfaden bewertet werden können. Die offensichtlich doch gute Einregelung des Bleiglances läßt an diesem Beispiel

keine Entscheidung darüber zu, sicher nicht zuletzt deswegen, weil gefügeanalytische Einsichten in den Deformationsmechanismus regulärer Kristallarten noch fast völlig ausstehen. Ich habe das vorliegende Beispiel aus der Menge der schon untersuchten Bleiglanzaggregate deswegen als erstes Beispiel herausgegriffen, weil es geeignet erscheint, die besonders gelagerte Problematik gefügekundlicher Untersuchungen an Erzen zu zeigen.

#### Literatur.

- [1] BERRY, L. G.: Studies of Mineral Sulpho-Salts: III -Boulangerite and „Epiboulangerite“. University of Toronto Studies, Geolog. Ser. No 44 (1940). — [2] KORN, DORIS: Ein deformiertes Flußpat-Quarz-Kupferkiesgefüge aus einer mittelschwedischen Sulfidlagerstätte. Neues Jb. Mineral., Geol., Paläont., Abt. A Beil.-Bd. 66 (1933). — [3] KORN, DORIS: Zur Lagebestimmung opaker Erze und Metalle. Neues Jb. Mineral., Geol., Paläont., Abt. A Beil.-Bd. 67 (1933). — [4] RAMSAUER: Achsenverteilungsanalyse an Quarziten. Diss. Innsbruck. — [5] SANDER, BRUNO: Fortschritte der Gefügekunde der Gesteine. Fortschr. Mineral., Kristallogr., Petrogr. Bd. 18 (1934).

Aus dem Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Heidelberg.

**Beiträge zur Petrographie des Odenwaldes.**

**IV. Wechselbeziehungen zwischen Dioriten, Graniten und Schiefern  
im westlichen Odenwald.**

Von

**ERWIN NICKEL.**

Mit 28 Textabbildungen und 1 petrographischen Karte.

(*Eingegangen am 29. April 1948.*)

	Inhaltsübersicht.	Seite
<b>Einleitung</b>		427
1. Die Bedeutung porphyrtig eingesprengten Kalifeldspates in Graniten und Dioriten des Bergsträsser Odenwaldes		428
2. Die problematischen Diorite von Schönberg-Zell		433
a) Über anatektische Schlieren in Schiefern		433
b) Die Granitdurchtrümmerungszone von Schönberg		436
3. Kartierungsübersicht		442
a) Südteil		443
b) Nordteil		446
4. Physiographie wichtiger Typen (Einzelbeschreibung):		
I. Diorithauptzug		447
a) Dioritmigmatite vom Seidenbuch		447
b) Seidenbuch: Dioritbrüche am Südhang		450
II. Aus dem Kartierungsgebiet: Bensheimer Diorit-Schieferzug		452
a) Typenübersicht		452
b) Der Gesteinsverband vom:		
a) Aspenforst		456
β) Hohberg		458
γ) Knodener Kopf		462
5. Versuch einer genetischen Zusammenfassung		466
Literatur		469

**Einleitung.**

Nachdem durch die Arbeit O. H. ERDMANNSDÖRFFERS über „Die Diorite des Bergsträsser Odenwaldes und ihre Entstehungsweise“ [22]<sup>1</sup> die Genese des Erlenbacher Mischgestein geklärt wurde, schien es aussichtsvoll, nach Kenntnis der dort gemachten Erfahrungen die Untersuchungen auch auf die dioritischen Gesteine im Dreieck Heppenheim-Seidenbuch-Bensheim auszudehnen. Diese zeigen nämlich in Gefüge und Verband Züge, die durchaus als migmatitisch anzusprechen sind. Bei Begehungen des Gebietes ergibt sich eine derartige Menge Einzelprobleme, daß es zweckmäßig scheint, zunächst eine Rahmenvorstellung zu gewinnen. Eine zu diesem Zweck unternomene Übersichtskartierung des Gebietes erweist einen Zusammenhang der Diorite mit granitischen und schiefrigen Gesteinen. In Nachfolgendem sollen nun die Erfahrungen besprochen werden, die sich bei kritischer Betrachtung der vorkommenden Gesteinstypen ergeben. Es kann sich bei dieser Arbeit also nicht darum handeln,

<sup>1</sup> Die Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit.

Punkt für Punkt die anfallenden Probleme zu erledigen; vielmehr soll für das betreffende Gesamtgebiet ein heuristischer Gesichtspunkt gewonnen werden, auf daß mit Erfolg den Einzelaufgaben nachgegangen werden kann; ihre besondere Bearbeitung soll sich an diese Arbeit anschließen.

Die Literatur wurde soweit durchgesehen, wie es für die Problemstellung notwendig schien. Eine quantitative Verwertung des über dieses Gebiet Geschriebenen wurde indes nicht erstreb't; unter diesem Aspekt ist das chronologische Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zu verstehen. — Die petrographische Kartierung soll auch keineswegs die geologischen Karten von KLEMM und CHELIUS ersetzen, denn man wird bei einer petrographischen Karte sowohl über kleinere Diluvialbedeckungen integrieren als auch einzelne (in einer geologischen Karte notwendig anzugebende) Gänge usw. nicht darstellen. — Im übrigen wurde, soweit möglich, vorurteilsfrei an das Gelände herangegangen, die Literatur also im wesentlichen erst aposteriorisch verwertet. Doch mußte Gedankengängen, die aus anderen Gebieten (so vor allem dem österreichischen Waldviertel) stammen, nachgegangen werden, insofern sie sich bei der Begehung des Geländes von selbst aufdrängten. Trotz des Gesagten halte ich es aber nicht für richtig, induktiv *gefundene* Ergebnisse und Hypothesen in jedem Falle auch in gleicher Form *darzustellen*. Eine petrographische Arbeit ist keine mathematische Analysis. Ein Mitvollzug der Gedankenentwicklung ist letztlich nur dem möglich, der dasselbe Gebiet in gleicher Weise angeht; für den anderen bleibt die Annahme der Ergebnisse mehr oder weniger doch eine Vertrauensfrage.

### 1. Die Bedeutung porphykartig eingesprengten Kalifeldspates in Graniten und Dioriten des Bergsträsser Odenwaldes.

Wenn man nach einer Einsicht in die petrographischen Verhältnisse des niederösterreichischen Waldviertels [40] den Odenwald betritt, fallen sofort Ähnlichkeiten im Erscheinungsbild von Ho-führenden „Graniten“<sup>1</sup> auf, die hier wie dort im Verbande mit ihnen ähnlichen, aber Ho-freien Graniten auftreten:

Waldviertel:	Odenwald:
KF-Diorite	„Ho-Granit“ (Gh)
Weinsberger Granit	Biotitgranit (G)

Näheres Zuschreiben vertieft die Parallelen. Der Phänotyp des (durch schlierig angeordnete KF) porphykartigen Gesteins des Odenwaldes (Gh der geologischen Karte) entspricht durchaus denjenigen Waldviertler Dioriten, die im Verbande des Weinsberger Granites auftreten. Hier wie dort die dicktafelige Ausbildung der KF, die gleichen Schwankungen des Bi-Ho-Quotienten, die Einschaltungen gabbroider (zum Teil durchaderter) Diorite und aufgelockerter syenitischer Typen; die für beide Gesteine typischen Putzen und idiomorphen „Primärtitanite“ vervollständigen die Entsprechung. — Nun gelang es, für die Waldviertler Diorite, die bis auf den Ho-Gehalt modal und strukturell dem porphykartigen Weinsberger Hauptgranit gleichen, die Genesis zu deuten. Aus heuristischen Gründen wurde zwischen dem Bi-Granit (G der bisherigen geologischen

<sup>1</sup> In folgendem sollen nachstehende Abkürzungen verwendet werden: Qu = Quarz; FS = Feldspat; KF = Kalifeldspat; Mi = Mikroklin; Myrm = Myrmekit; Plag = Plagioklas; Bi = Biotit; Ho = Hornblende; Py = Pyroxen; Ind = Individuum(-en); PT = Paralleltextur. — Die Abkürzungen der Gesteinsnamen verstehen sich aus der petrographischen Karte.

Karte) und dem Ho-Granit des Odenwaldes eine entsprechende Deutung der Genesis versucht, zumal die Intrusionen in beiden Gebieten auch in geologischer Hinsicht parallelisiert werden dürften.

Die Deutung des Rastenberger Gesteins (des bedeutendsten Vertreters jener KF-Diorite) ist kurz folgende<sup>1</sup>: Aus dem Magma, dem später der Weinsberger Granit „entstieg“, bildeten sich als ältere Differenziate gabbroide, noritische, hornblenditische und dioritische Teilmagmen, die aber nur zum geringeren Teil zur Intrusion kamen (z. B. GEBHARTS, ARTOLZ). Erst das Aktivwerden des Magmenanteils, der den Weinsberger Hauptgranit lieferte, schob den größeren Teil der basischen Differenziate vor sich her, löste ihn ± an und infiltrierte ihn hauptsächlich mit KF-Substanz. Dabei drang der Brei nach oben; noch feste Diorite des Hangenden wie auch allogene Dachgesteine wurden reichlich aufgenommen und blieben als ± „angeschmolzene“ Putzen erhalten. Es entstanden hierbei zum Teil syenitische, zum Teil opdalitische Gesteine, die durch ihr ungewöhnliches Verhältnis von felsischen Großindividuen und mafitreichem Grundgewebe auffallen und in ihrer chemischen Zusammensetzung zu den Kersantiten neigen. Der Vorgang dieser magmatischen Auffrischung ist in der turbulent-fluidalen Anordnung der KF fixiert. Da es gelingt, den Rastenberger Migmatit innerhalb eines Niggliadiagrammes (mit si als Abszisse) zwischen Weinsberger Granit und Noriten „unterzubringen“, stellt er nur ein fixiertes Stadium innerhalb einer durch Eigennachsübe modifizierten magmatischen Differenziation dar; es wäre überflüssig, einen besonderen Namen einzuführen. Jedoch wurde die Vermutung ausgesprochen, daß die Fixierung jenes Stadiums von allgemeiner Bedeutung sei, mit anderen Worten: es scheinen entsprechende „Eigenmischungen“ bei größeren Magmenherden begünstigt zu sein<sup>2</sup>. Das Vorkommen der porphykartigen Granite im Odenwald mit ihren entsprechenden Dioriten möchte diesen Gedanken bestätigen: das Kriterium fluidal-turbulenter KF, die in dioritischem Grundgewebe schwimmen, und die auf einen benachbarten Granit hinweisen, ist durchaus vorhanden. Solche KF bewahren auch in gestreckten Typen ihre idiomorphe Kantigkeit. Dieser Aufweis ist letztlich ein thermodynamischer: „Idioblastizität“ der einsprenglingartigen KF bei synorogener Streckung ist nur dann möglich, wenn während des Intrusionsaktes bzw. im Moment der Kalifeldspatisation höhere Temperaturen vorliegen, als es für jene primär gestreckten Granite anzunehmen ist, deren KF in die augen-gneisähnliche Flaserung mit hineingezogen sind. Die „flüssiger“ intrudierten

<sup>1</sup> NICKEL, ERWIN: „Das Mischgestein vom Typus Echsenbach (Niederdonau) und seine Stellung im Rastenberger Tiefenkörper“, Posen/Wien 1944, Dissertation, letztes Heft der Mineralogisch-petrographischen Mitteilungen (noch nicht erschienen).

<sup>2</sup> Der wechselnde Anteil von symmarmatischem oder allogenem Material modifiziert den Gesteinscharakter. ERDMANNSDÖRFFER schreibt [34]: „Über unausgereifte Magmatite (Aorite). Der Begriff umfaßt Gesteinstypen eines migmatitischen Zwischenstadiums mit deutlicher Richtung auf ein definierbares magmatisches Endziel. Er wurde abgeleitet von den Dioriten des westlichen Odenwaldes, die sich ... in die Reihe Granit-Diorit-Gabbro ... einpassen, dabei aber von ausgeprägtem Mischcharakter sind. ... Altmaterial ... oft analytisch partiell aufgelockert, wird ... derart stofflich überarbeitet, daß es selbst in die stoffliche Folge der Differenziationsreihe eingegliedert wird. ... Gneis als Ausgangsmaterial wird unter Zutritt von  $K_2O$ -Lösungen granitisirt. — Das aoritische Stadium wird da überwunden, wo sein Material durch ... weitergeführten ... Energiezuschuß über seinen embryonal-magmatischen Zustand hinweggebracht und ... homogenisiert und ausgereift wird.“

Magmen werden im Ganzen massiger mit fluidalem Detail erscheinen; bei den anderen, die zur Zeit ihrer Intrusion schon einen großen Teil ihrer thermischen Energie verbraucht haben, werden gestreckte Typen überwiegen: sie haben die tektonischen Bewegungen „schlechter überstanden“. Von hier aus läßt sich wiederum verstehen, daß den gestreckten Typen die entsprechenden KF-Diorite fehlen: ein Verdauungsprozeß kann bei Anstiegs-Assimilation nicht isotherm geführt werden: es entsteht kein ausgereift homophan-massiges, sondern ein hybrid-parallelstruiertes Gestein. — Im ganzen ergibt sich folgendes Schema:

1. Magmatische Differenziation: gabbroide und dioritische Vorläufer (Dr Gb), zum Teil selbst wieder durch Dachgesteine hybrid (Dr ms der Karte).

2. Ein Teil der basischen Vorläufer wird erst durch die Granitintrusion mobilisiert; dabei Kalifeldspatung der basischen Vorläufer im Hangenden: isotherm geführte Tiefenmischung führt zu Qu-Dioriten (Gh). — Durch Schieferaufnahme entstehen hybride Intermediärgesteine (Dr ms)<sup>1</sup>.

3. Granit stößt nach; a) in das durch Gh (mit ms-Putzen) geräumte Gebiet: Der G ist porphyrtartig (mit Dr-Schollen), b) unter selbständiger Raumbeschaffung: G-flaserig (G fl bis G ms).

Wie gesagt: diese Allgemeinüberlegung erscheint, besonders was die porphyrtigen Typen angeht, für das Waldviertel annehmbar. Es fragt sich nun, ob eine Übertragung sinnvoll ist. Es entsprächen sich in bezug auf den fast *granodioritischen Hauptgranit*: im Waldviertel der Weinsberger Granit, im Odenwald der ältere Bi-Granit (besonders in seiner porphyrtigen Ausbildung). In gleicher Weise in bezug auf die „KF-führenden Bi-Ho-Diorite“: im Waldviertel Gesteine wie der Dornacher Opdalit oder der Rastenberger Alkalidiorit, im Odenwald die „Ho-Granite“ bzw. die dioritischen Einschlüsse im älteren Bi-Granit. Einen Vergleich der abgerundeten Modalbestände zeigt die Tabelle S. 431<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Das Gh-Massiv des mittleren Odenwaldes ist wohl im Ganzen zu einheitlich, als daß man im Hinblick auf die Einschlüsse den granodioritischen Charakter generell auf jene Schiefereinschlüsse zurückführen dürfte. Der KF-Gehalt ist viel leichter aus dem Dr: G Verhältnis erklärbar, das z. T. auch den Ho-Bi-Quotienten bestimmt.

Was freilich von „Gh“-Gängen am Aspenforst unter anderem zu halten ist, wird bei der Kartierungsarbeit zu diskutieren sein.

Den örtlich hohen Titanitgehalt möchte ich auf resorbierter Schiefer zurückführen (s. a. [22]): In der

Metabasitscholle ist der reichliche Titanit *leistig* mit dem typischen mafitfreien Hof. In der Reaktionszone, wo der Gh die Scholle angefressen hat, verliert er diesen Hof und bekommt die bekannte Briefkuvertform, die er dann im Gh beibehält (Abb. 1).

<sup>2</sup> Vergleiche die Analysenberechnungen von 3 und 7:

3	si 168	al 27,9	fm 36,7	c 16	alk 19,4	k 53	mg 58
7	199	31,7	33,4	16,5	18,4	30	52

Um die gegenseitigen Übergänge aufzuweisen, seien außerdem die Daten des Gh von Walderlenbach 8, des Reichsgranites von Oberflockenbach 9 und des Bi-Granites Schlierbach bei Heidelberg 10 angegeben:

8	si 234	al 33	fm 27,5	c 20	alk 19,5	k 33	qz + 56
9	316	41,5	19,5	17,5	21,5	40	+ 130
10	246	37	21	15,5	26,5	38	+ 140

Bemerkenswert ist bei allen die Kalihöhe ( $k > 33$ ), die, wenn auch nicht so stark ausgebildet wie in der Waldviertler Provinz, so doch deutlich ist.

Es sei hier auch darauf hingewiesen, daß eine Neigung zu kersantitischem Chemismus sowohl für das Echsenbacher Gestein als auch für die Schriesheimer Gesteine (ERDMANNSDÖRFFER [21]) festgestellt wurde.



Abb. 1.

	1	2	3	4	5	6	7
Kf	35	11,5	30	5	31	6	0,5
Plag	28	44,5	40	20	42	44	55,5
% An	(27)	(24—49)	(35)	(35—42)	(23—26)	(30—32)	(33—37)
Qu	22	13,5	5	5	20	25	8,5
Bi	12	20	25	45	7	15	18
Ho	—	7	—	10	—	10	15,5
Py	—	—	—	15	—	—	—

## Waldviertel:

- 1 Weinsberger Granit  
 2 Dornacher Opdalit  
 3 granitoide Spielart des Typus Echsenbach  
 4 dioritische Spielart des Typus Echsenbach

## Odenwald:

- 5 Heidelberger Granit (Staudenbächle)  
 6 Gh-Mittershausen  
 7 Dr Einschluß im G des Hettersbachtales bei Schriesheim

Sowohl der Weinsberger wie der Heidelberger Granit führen als einzigen Mafit Biotit. — In gleicher Weise wie sich im Waldviertel innerhalb der Ho-führenden Gesteine allmähliche Übergänge zu Bi-Gesteinen finden, wechselt auch hier das Ho-Bi-Verhältnis (Reichsgranit!). — Sowohl hier wie dort hat der dioritische Vorschub den Intrusionsbereich gesäubert, so daß die Hauptverunreinigungen im Diorit stecken. Mit der Übergangsstellung des Flockenbacher Reichsgranites hängt es auch zusammen, daß schärfer begrenzte Putzen in ihm seltener sind. Wie im Waldviertel bleibt die Verteilung der KF-„Einsprenglinge“ im Granit mehr oder weniger gleichmäßig, variiert aber stark in den Dioriten beider Gebiete und nimmt gegen die Mitte ihrer Verbreitungsgebiete hin ab, ein Hinweis auf die Fremdzufuhr des KF. Daß eine solche „Feldspatisierung“ keine Hypothese ad hoc ist, mögen 2 Notizen aus Exkursionsprotokollen zeigen:

Birkenauer Tal bei Weinheim: „Mehrere Aufschlüsse legen die Vermutung nahe, daß sich Kalifeldspat zuerst in Schlieren anreichert, um sich dann bei Auflockerung derselben in Großindividuen umzuwandeln. In einem Falle wird eine der Paralleltextur akkordant liegende FS-Schliere auffällig, die sich gerade in ihrer ganzen Erstreckung zu KF-Großindividuen ‚ausrent‘. — Ein andermal (Abb. 2) wird in Diorit, welchen Gh injiziert, ein aplitisches, beidseitig von Bi gesäumtes Band beobachtet, das innerhalb einer hellen Schliere abreißt, versetzt wird und sich zu KF-, Porphyroblasten auflöst. Die Versetzung innerhalb der Schliere weist auf teilweise Aufschmelzung hin, Quarz hat sich hierbei schon abgesondert und bildet die Randzone.“

Echsenbach/Waldviertel: „Jedenfalls handelt es sich, wie schon L. WALDMANN sagt, um bei der Intrusion mitgerissene, verschleppte Schollen basischer olivinführender Erst-ausscheidungen, die von den großen FS-Einsprenglingen des etwas jüngeren Intrusivgestein umflossen werden. Dabei ist bemerkenswert, daß nicht etwa nur die großen Einsprenglings-individuen das Umfließen beschreiben: aplitische FS-Schlieren, welche das Gestein partiell durchweben, bilden regelrechte Strömungsbänder um die Schollen, welche sich an der Stirnseite hin und wieder schon KF einverlebt haben. Manchmal befindet sich zwischen

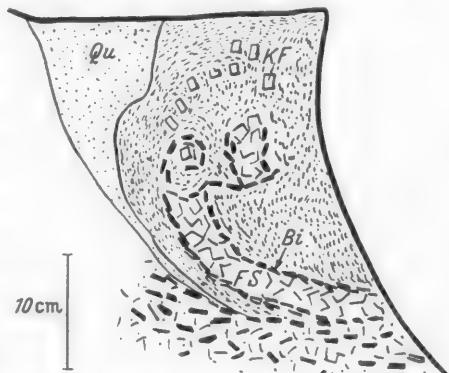


Abb. 2. KF-Streuzone in Mischgestein.

Strömungsschlieren und dunklem Kern eine Übergangszone, die nicht mehr scharf gegen das Nebengestein absetzt. In anderen Fällen beobachtet man das Findringen der Substanz einer FS-Schlieren in die eingeschlossene Knolle rythmisch nach Zonen. KF mit zonaren Resten der Grundmasse schwimmen auch in hellen einschlußfreien Stellen und weisen auch dort auf eine ehemalige basischere Grundmasse hin.“

Es muß nun auf die Beziehung zum sog. „flaserigen Granit Gf1“ eingegangen werden, der unter der Bezeichnung Bi-Granit mit dem bisher besprochenen mehr massigen Granit gleichgesetzt wird. Stellen wir unter Hinweis auf die oben gegebenen thermodynamischen Überlegungen die Extremfälle gegenüber, also:

a) im groben Grundgewebe porphyrtartige, fluidal verteilte KF; mafitische Putzen, im Ganzen massig, bzw.:

b) augengleiches flasriges Gefüge; keine regionale Tendenz zu Großfeldspat; größere KF zeigen sich gerundet bis zur lemniskatenartigen „Auswälzung“; von KF „umflossene“ basische Einlagerungen fehlen,

so ergibt sich die Deutung, daß es sich bei dem flasrigen Biotitgranit um die durch Resorptionsvorgänge thermodynamisch geschwächte (metablastische) Variante handelt. Selbstverständlich sind Übergänge vorhanden. Immerhin erscheint es sinnvoll, die genetisch noch ursprünglicheren porphyrtartigen Intrusiva zusammenzufassen, weil dadurch auch die flasrigen Granite in eine genetische Ordnung kommen<sup>1</sup>. Vom Knodener Kopf bis zur Tromm läßt sich zeigen, wie flasriger Granit an homöopathen Stellen zur porphyrtartigen Struktur übergeht, obwohl der Mafitreichtum nicht geringer wird. Diese Erscheinung ist, da sich gleich daneben gestreckte Typen finden, die nicht mehr und nicht weniger an Einschlüssen zu verdauen hatten, nur erklärlich durch eine (hier lokale) Überschreitung einer Temperaturschwelle.

Auch die Trommgesteine, deren genetische Stellung seit KLEMM-BUBNOFFS Kontroverse umstritten ist, scheinen sich einer solchen Betrachtungsweise nicht zu verschließen. — Die Art des Auftretens von muskovitführenden jüngeren, meist gangförmigen Aplitgraniten (in der jüngeren KLEMMschen Karte als  $G_2$ -durchtrümert angegeben) legt es nahe, auch hier eine „thermische Auffrischung“ bei gleichzeitiger „kalifeldspatization“<sup>2</sup> anzunehmen, so daß die Trommgesteine

<sup>1</sup> Auch der Unterschied von G und  $G_2$  ist im Wesentlichen nur ein struktureller. Nur an Orten gegenseitiger Durchtrümern sollte man daher die Unterscheidung treffen dürfen. KLEMM gibt ja auch zu, daß sich (bei Sittbach) Gesteine finden, „deren Zugehörigkeit zum  $G_2$  nur aus dem anscheinend ununterbrochenen Übergange in die normalen kleinkörnigen Gesteinsformen geschlossen werden kann“ (Erläuterungen zu Blatt Neunkirchen). Und diese Einteilung erfolgt auf Grund des gefügemäßigen Phänotyps, obwohl man doch allenthalben beobachten kann, daß auch der (ältere) G für sich allein eine Variationsbreite hat, die den  $G_2$ -Typ mit einschließt. Wenn etwa das Heidenloch bei Groß-Sachsen mit G kartiert ist und nicht als  $G_2$ , so kann das überhaupt nur aus einer bestimmten genetischen Vorstellung heraus verständlich erscheinen. — Am Birkenbächle (Leutershausen), wo Aplite, Ganggranite, gequetschte, flasrige und fluidale Granite auf engem Raum wechseln und zwischen G- und  $G_2$ -Typen alle Varianten auftreten, gehören alle insgesamt zu einem Granit (G). Die noch zu besprechenden Verhältnisse im Kartierungsgebiet zeigen entsprechendes. — KLEMM wollte anscheinend die rein aplitischen Granite von den kleinkörnigen trennen, wobei die letzteren schon „G“ sind; er ist aber auch hierin nicht konsequent.

<sup>2</sup> Vgl. die Ausführungen A. HIETANENS [39], S. 96: „Die Alumosilikate enthalten lokal reichlich Mi, der korrodierend zwischen die anderen Mineralien eingedrungen ist oder große Porphyroblasten bildet. Das Vorkommen des Mi und auch der Umstand, daß er wolkenartig alle Schichten gewisser Gebiete besetzt, zeigt, daß dieses Material sekundär ist und daß es sich um eine regionale Kalifeldspatung handelt... Die Korrosionserscheinungen zeigen, daß der KF spät ist; das reichliche Vorkommen in der Nähe der Pegmatite deutet auf dieselbe Quelle mit letzteren hin.“

(nach Süden zu kontinuierlich) der Heidelberger Gπ-Ausbildung ähnlich werden. Solchen „anpassenden Umprägungen“, die dann durchaus der Entstehung von KF-führenden Dioriten (Randgebiete des „Hornblendegranites“ Gh) entsprechen würden, soll in weiteren Arbeiten nachgegangen werden, in denen auch auf durbachitische und metasomatische Typen mit wolkigen Anhäufungen völlig idiomorpher KF eingegangen werden muß (vgl. auch das nächste Kapitel).

Nachdem so eine erste Übersicht gegeben ist über das Verhältnis der Granite untereinander sowie zu granodioritischen Gesteinen, wobei im Hinblick auf die Kalifeldspatung auf die Möglichkeit von Mischgesteinssbildungen im rein magmatischen Bereich hingewiesen wurde, sollen nun andere Systeme betrachtet werden: es handelt sich um Gesteine, deren Verbindung mit Granit — und Magmatiten überhaupt — keine so offensichtliche und leicht zu entziffernde ist wie bei den bisher behandelten Typen (s. a. F. K. DRESCHER-KADEN [35], [37]). Dem KF wird unser besonderes Augenmerk weiterhin gelten.

## 2. Die problematischen Diorite von Schönberg-Zell.

### a) Über anatektische Schlieren in Schiefern.

Zwischen Bensheim-Schönberg und Zell finden sich dioritische Gesteine, die von jeher mit einem Fragezeichen versehen waren. Es handelt sich zumeist um kleinerkörnige, gestreckte Typen, die mit dem weiter südlich anstehenden Diorit (des Hauptzuges von Heppenheim bis Lindenfels) durch Übergänge verbunden sind, so daß man, aus dem Diorit kommend, nicht weiß, wo und wogegen man eine Grenze des „Dr“ angeben soll. So wird es auch verständlich, daß Gesteine als Dr kartiert wurden, die deutlich Kennzeichen einer Schieferung tragen. Es galt, die Zusammenhänge zwischen den „echten“ Dioriten des Hauptzuges und den in nordwestlicher Richtung immer dioritähnlicher werdenden Gesteinen aufzudecken.

ERDMANNSDÖRFFER gibt in [22] für den gestreckten „Dr“ vom Steinigen Weg bei Zell folgenden Modalbestand:

KF 3,5% Qu 8,3 Plag 47,5 (An %: 36—43) Bi 11 Ho 26,2  
Magnetit 0,6 Apatit 0,4 Titanit 1,0

d. h. also fast  $\frac{2}{3}$  der Mafite sind Ho,  $\frac{1}{3}$  Bi. Ein Teil der Plagioklase (der Schwerpunkt ihres An-Gehaltes liegt bei dem basischen Grenzwert) ist, wie auch ERDMANNSDÖRFFER angibt, idiomorph gegen Ho, also als älter anzusetzen. Während aber die Plag-Ausscheidung in einem späteren Stadium fortgesetzt wird, fallen die Mafite einer  $\pm$  deutlichen Korrosion anheim; wobei hier der Bi stärker als die Ho angegriffen und auf einzelne Fragmente reduziert wird. In den Buchten scheidet sich ein junges leistiges Plag-Gerüst aus, noch jünger ist KF und Qu. Während sich KF meist filmartig zwischen den Plag ausbreitet, bevorzugt Qu körnige gepflasterte Ausbildung (zum Teil unter Beiseiteschieben von Bi-Fetzen zu kleinen Bögen) bzw. Resteckenfüllung. So entsteht eine aufgelockerte Struktur. Da Bi resorbiert wird, spricht ein kleiner KF-Anteil nicht für stoffliche Zufuhr; im Hinblick auf die Strukturlockerung und die Plag-Ausscheidung, die die Korrosion der Bi überdauert, wäre aber an ein Ansteigen der Temperatur bis zu teilweiser Wiederaufschmelzung zu denken, zumal sich solche Strukturen auch im Erlenbacher Mischgestein finden. Ob eine solche Phase nur ein rückläufiges Moment bei der magmatischen Erstarrung bedeutet hat, oder ob ein

abgekühltes Gestein noch einmal mobilisiert worden ist, bliebe unentschieden, wenn nicht bei Schönberg aufschlußreichere Stadien zu beobachten wären.

Südlich des Ortes, von den Müllerbergen nach Norden zu, kann nämlich beobachtet werden, wie ein deutlich geschieferetes Gestein zu einzelnen Fetzen aufgerissen und von schlierigen, helleren Zwischenzonen durchwebt ist. Im Dünnschliff des Hauptgestein zeigt sich, daß die schieferige Anordnung der grünen Ho in Flasern, die mit Bi verflochten sind, durch ein granoblastisches Oligoklasgefüge (Schwerpunkt des An-Gehaltes 25—31%) gemildert wird, indem nämlich kleine Fetzen von Ho zwischen den Plagioklasen verklemmt, umschlossen und entregelt werden. Die Plag führen gelegentlich „anti-perthitische“ Mikrolitheneinlagerungen. Vereinzelt finden sich Plag-, „Porphyroblasten“, die förmlich mit Bi und Ho gefüllt sind. Die Füllung hört an einer

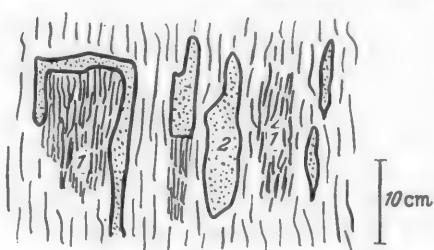


Abb. 3. „Gn-is“ gestreckt durch Schieferrelikte (1) mit quarzdioritischen Schlieren (2).

früheren idiomorphen Plag-Oberfläche auf, ein späteres Weiterwachsen führt zu einer einschlußfreien, sich xenomorph mit der Umgebung verzahnenden Hüllzone<sup>1</sup>. Merkwürdig ist nun, daß auch das hellere, als Schlierengeflecht beschriebene Zwischengestein modal und strukturell das gleiche Bild wie der umschlossene Schiefer bietet; nur daß das Korn im ganzen etwas feiner ist und es weniger durchgehende Mafitzöpfe sind, die die Schieferung anzeigen, sondern einzelne

aber auch parallel angeordnete Ho-Individuen. So sicher man nach dem petrographischen Befund der Aufschlüsse sagen möchte, daß hier ein mindestens viskoser „Brei“ zwischen den noch festen Schiefern vorlag, so unwahrscheinlich scheint eine Zufuhr, Injektion usw. von außen her. Denn die Schlieren verlaufen sich im Gestein. Man könnte eher an eine Mobilisierung von Eigenmaterial denken: wir hätten es mit einem ektekischen Gestein im Anfangsstadium zu tun. Überarbeitung führt bis zu dioritischen Typen: Die eben genannten Schönberger Gesteine wie auch ihre ektekischen Schlieren führen zwar keinen KF. Doch treten in einzelnen dieser Schlieren Filme und Xenoblasten von KF auf, gleichzeitig wird das Gefüge einwandfrei dioritisch, freilich mit verschwimmender Grenze gegen die Hornfelsstruktur des nicht-mobilisierten Gesteins absetzend. Kennzeichnend ist in diesen dioritischen Partien das „Schwimmen“ großer kurzprismatischer Plagioklase [Oligoklas bis Andesin von 42%, alle mit enger Zwillingslamellierung nach (010)<sup>2</sup>] in einer

<sup>1</sup> Ähnliches zeigen gewisse große Plag der aufgelockerten Amphiboliteinschlüsse im „Gh“ des Hirschkopfes bei Weinheim; jedoch tritt am Hirschkopf die Rolle des „blastischen“ Plag hinter der des noch jüngeren KF zurück, während hier ausschließlich Plag auftritt.

<sup>2</sup> Hier wie auch anderwärts fielen mir Plag auf, deren 010-Richtung verbogen war; an den Verbiegungsstellen war die Lamellierung und die Ausbildung von Zwillingsindividuen gegenüber anderen Partien des Individuums verstärkt, so, als ob mechanische Knickung vorgelegen hätte. Auch das Umspringen in die Periklinstellung scheint teilweise auf solchen Effekten zu beruhen. (Ich wies an anderer Stelle schon einmal auf einen solchen Fall hin, Heidelberger Beiträge I/1. Mineralogische Notizen.) Besser als Worte zeigen das die Ansichten, deren einige wiedergegeben seien, da mir die Sache nicht ganz bedeutungslos erscheint (Abb. 4).

Quarz-Grundmasse. Die Reste der Mafitflaserung (Ho und Bi) liegen entregelt oder zu kleinen Häufchen aggregiert bei den FS; in diese sind der Qu als auch die hie und da vorhandene KF-Substanz eingedrungen. Das Ganze ist magmatischer (und grobkörnig-massiger) in der Struktur als beispielsweise der Zeller Diorit (s. dort), allerdings auf die jeweilige bis dezimeterbreite Schlieren beschränkt.

Sieht man sich nun unter solchen Gesichtspunkten das Hauptgestein Schönbergs an (anstehende Felsen im Ort), so wird man ohne weiteres zu der Annahme kommen, daß hier Übergänge gefunden sind zwischen dem schon dioritischen Gestein wie vom Steinigen Weg, und dem Schiefer, der in den oben beschriebenen umschlierten Fetzen erhalten ist. Dementsprechend zeigen jene Mittelglieder eine stärkere Auflösung der schiefrigen Textur, ein hornfelsartiges Gefüge bis zur völligen Entregelung, indem nämlich wirre Ho- und Bi-Fragmente zwischen Oligoklas/Andesin (um 29—35% An), der nun mit größerer Idiomorphie leistig auftritt, verstreut liegen. Reichliche Beteiligung von verzahnten Qu-Körnern ist auffällig. Die schon oben erwähnten Plag-„Porphyroblasten“ werden örtlich häufiger und nehmen als große xenomorphe, verzahnte Individuen die ganze Grundmasse ein. Es wurde bereits gesagt, daß der Bi gründlicher resorbiert wird als die Ho; hier haben wir nun die Erscheinung, daß als Plag-Füllung ausschließlich Bi auftraten, obwohl das übrige Gefüge außerhalb der großen Plag durchaus Bi und Ho in  $\pm$  gleichen Anteilen führt.

Abgesehen von einzelnen massig-dioritischen Schlieren im ms wird selbständiger Diorit, der bis zu massiger Ausbildung kommt, am nördlichen Teil des Schönberger Durchbruchs häufiger. Wie das Kärtchen (Abb. 5) zeigt, schaltet er sich aber auch hier zwischen Schiefer; der Wechsel ms-Dr ist gewissermaßen ins Große projiziert. Es läßt sich natürlich in diesem Falle nicht sagen, ob man auch die Deutung parallelisieren und die Annahme ektektiler Dioritisierung ebenfalls ins Große übersetzen darf. Daher seien hier die Strukturen ohne nähere Diskussion angegeben. Es wird sich im Verlaufe der späteren Ausführungen zeigen, in welches Gesamtbild sie sich einfügen. — Zunächst das grobe Gestein vom Osthange: Hier findet sich ein

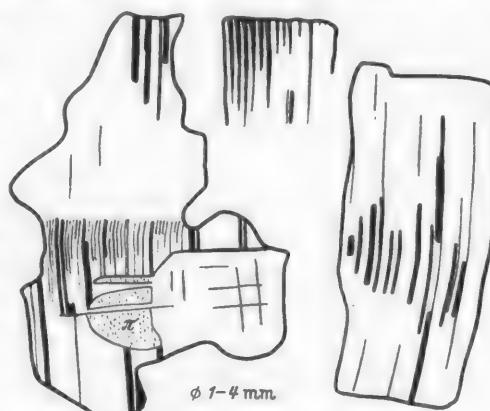


Abb. 4. (Zu Anm. 2; S. 434.)

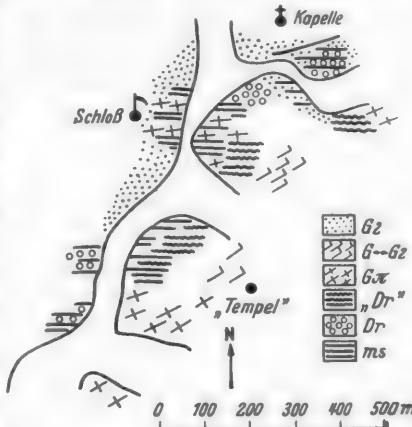


Abb. 5. Schönberger Durchbruch.

getrübter Plag (35—44 % An), nur teilweise idiomorph gegen grüne Ho-Leisten; an Stelle von Qu, der fast ganz fehlt, als Letztausscheidung KF, in dem dann Ho und Plag „schwimmen“. — Nördlich der Straße, am Fuße des Kapellenberges alternieren Schiefer und Diorit auffällig rasch. Hier finden sich auch die granitdurchtrümerten Gesteine, die schon CHELIUS beschreibt ([1] daselbst eine Zeichnung). Der hier auftretende saure, bis zu 20—35 % Mi enthaltende biotitarme und quarzreiche  $G_2$  wird bei größerer Selbständigkeit sogar porphyrtartig ( $G_2\pi$ ) mit Mi-Augen, die bis zu Zentimetergröße kommen können. (Typisch ist die besonders periphera Qu-Durchlöcherung; Myrm-Warzen gegen den Oligoklas nicht häufig.) CHELIUS nennt das durchtränkte Gestein „Dr“, mir scheint aber gerade hier der schieferige Charakter deutlich zu sein: ms/ $G_2$ . Etwas östlich davon (Felsen an der Ludwigsrast) ist der schlierig-akkordante Wechsel — schematisiert —: ms/ $G_2$ /Dr/ $G_2$ /ms/ $G_2$ /Dr auffällig. Er setzt sich in den Aufschlüssen der Hinterhöfe fort, schließlich hat man bei Umrundung des Kapellenberges mehr schieferiges Material aufgeschlossen<sup>1</sup>. — Das zwischen Schiefer und Diorit vermittelnde Gestein von der Ludwigsrast läßt sich beschreiben als ein Gefüge von braun—grün pleochroitischer fleckiger Ho, zum Teil poikilitisch in einem kleinkörnigen xenomorphen Plag-Pflaster (45 % An) mit Bi-Fetzen. Nesterweise Bi-Anhäufungen, dann wieder Stellen mit völlig serizitiertem Plag. Das Erz hauptsächlich im Amphibol: entweder in Mikrolithen „eingeregelt“ oder in großen Individuen bei mikrolithenfreier Ho. — Auffällig ist von hier ein ebenfalls quarzarmes Gestein mit braungrüner bis blauer, erzmikrolithenhaltiger Ho und in der Gesamtheit chloritisierter Bi (lavendelblau interferierende Ind zum Teil wie die Ho poikilitisch um Plag), reichlich mit Epidot in Spindeln und Einzelkristallen. Plag, um 50 % An, zum Teil idiomorph gegen Ho, serizisiert („MZP“ in [33]). Nester von Pyrit um die Ho. Es fügt sich dort, wo die Ho xenomorph an Plag stößt, auch das Erz in diesen Verband.

*b) Die Granitdurchtrümmerungszone von Schönberg.*

Es bliebe nun zu fragen, wer die thermische Energie für eine ektektsche Aufarbeitung geliefert hat. Auch auf diese Frage geben die Schönberger Aufschlüsse (an der Schule; in den Hinterhöfen gegenüber; an der Brücke am Ostausgang des Dorfes) Auskunft. Den  $G_2$  hatten wir bereits erwähnt. Ein porphyrtartig-flasriger Granit — üblich als G kartiert — durchsetzt außerdem, im wesentlichen akkordant der Schieferung, die anstehenden Gesteine. Aber nicht so, als ob eine scharfe Grenze vorhanden wäre: Die Ausbildung von KF-Einsprenglingen in einer Streuzone, ohne daß ein eigentlicher Saum zwischen „granitischem Trum“ und injiziertem Gestein vorhanden ist, kann als beispielhaft für die sog. Imbibition der französischen Schule (vgl. auch [25]) gelten: ja es fehlt oft sogar ein trumartiges Mittelstück: längs der Schieferung ziehen sich Bänder von KF oft meterlang, es fand kein mühsames Hineinpressen in aufblätternde Schichten statt, vielmehr gehäuft das Ganze an die Leichtigkeit eines pneumatolytischen Vorganges, an eine „Durchgasung“. Es muß erwähnt werden, daß selbst schärfer absetzende diskordante Gänge sich auf eine solche Weise in das Gestein verlieren, daß die (die Schieferung beschreibenden) Mafite

<sup>1</sup> Die Schieferung zieht + saiger N 65—90 O mit einer schärferen Klüftung N 10 W und N 50 W.

des injizierten Gesteins mehr und mehr in ihrer Regelung den Gang durchsetzen, bis schließlich der intakte Schiefer kommt; also auch hier eine „vorsichtige“ interstrukturelle Durchdringung: das durchdrungene Gestein muß in einem „angeregten“ Zustand gewesen sein, in dem die Schieferung gerade noch gewahrt, einer Imbibition aber nur geringer Widerstand entgegengesetzt wurde. Eine *stoffliche Zufuhr* beschränkt sich aber auf die Nähe größerer granitischer Gänge (von denen die Imbibitionen gespeist werden).

Während sich im Gelände deutlich Stufen der granitischen Beeinflussung unterscheiden lassen, zeigt sich im Dünnschliff ein relativ großer Unterschied

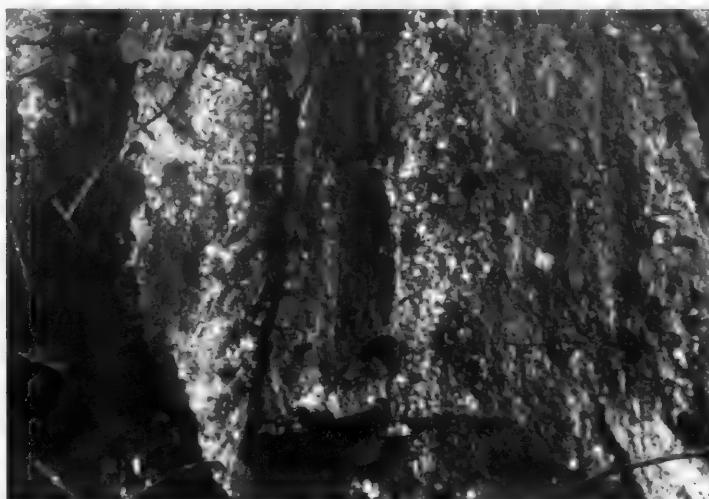


Abb. 6. Kalifeldspat-Imbibition akkordant der Schieferung. Schönberger Schiefer, Schulhof.

nur zwischen dem unbeeinflußten Schiefer und dem granitisch „infizierten“ Gestein; unbedeutend hingegen bleiben die Intensitätsverschiedenheiten des Graniteinflusses. — Wir haben vom Granit ausgehend:

1. grobporphyrtigen, mafitaren Flasergranit, gangartig (G),
2. imbibierten Schiefer, wie 1. sofort mit flasergranitischer Tendenz,
3. ein gangartig auftretendes kleinerkörniges Mischgestein, bei dem die Plag-Idioblasten an die KF-Einsprenglinge größtenteils heranreichen.
4. Schiefer, feinkörnig.

Zwischen 3. und 4. ist der erwähnte Einschnitt: sobald der Schiefer durchtränkt wird, vergröbert sich das Korn, die bislang gestreckten Mafite bekommen eine flasrige Anordnung, die nur graduell vom Gewebe des Flasergranites verschieden ist. Hier müssen auch die Trümer angeschlossen werden, die — im allgemeinen ohne porphyrtige Tendenz — den Schiefer (auch diskordant) durchsetzen und mit dem von hier aus nach Norden sich anschließenden  $G_2$  in Verbindung stehen: die Ganggranite von CHELIUS<sup>1</sup>. Im einzelnen ist folgendes zu sagen:

<sup>1</sup> Ho-(Bi)-Schiefer hat gegen den Mi-reichen  $G_2$  (dieser bis 70% KF!) einen Kontakt-saum von etwa 2 mm: hier ausschließlich Bi (mit Epidotspindeln), völlig verglimmter Plag und reichlich Qu (Qu in Adern und Kanälen). Kalzit und Prehnit in Äderchen; letzterer säumt gern die Qu-Ind.

**Zu 1. und 2.** Die granitischen porphyrtartigen Gänge, die sich im Schiefer zu Imbibitionszonen auffächern, zeigen u. d. M., wie sich zwischen wenig Bi, der zum Teil noch die Flaserung angibt, zum Teil auf kleinen Häufchen zusammenliegt, ein pegmatitisches Gefüge von Zügen und Linsen undulös auslöschender Quarzaggregate ausbreitet. Um die Linsen reichlich Mikroklin (mit deutlicher Gitterung) zuerst filmartig, dann Xenoblasten bildend. Durch gleiche Auslösung und identische Spaltrisse geben sich oft KF als einheitliche Individuen zu erkennen, die nur durch einen schmalen Film miteinander verbunden sind. Schließlich setzen sich große Individuen als Idioblasten durch, umschließen Plag und Quarzämöben. Ein verglimmter saurer Oligoklas in größerem Kristallen behält trotz der Qu-Korrasion einen - idiomorphen Umriß; zwischen Plag und Qu reichlich Myrm-Warzen. Auffällig ist die antiperthitische Durchsetzung der großen Plag teils durch filmartigen KF, teils durch wohlbegrenzte leistige Einlagerungen von KF-Substanz. Der KF-Anteil kann das halbe Ind ausmachen. — Auch in den Imbibitionszonen, wo überwiegend der Schiefer die

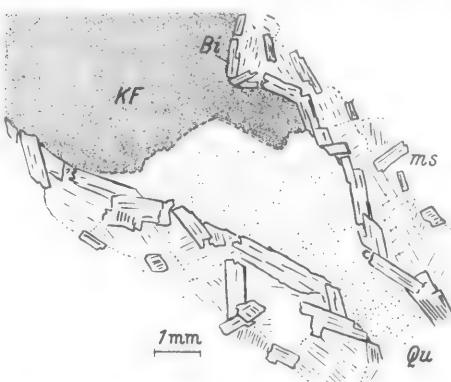
Grundmasse abgibt, zeigt sich das gleiche Bild: das Schiefergefüge ist aufgelockert, als Mafit tritt nur noch Bi auf, der sich um die Plag herumschmiegt; KF-Filme durchziehen das Ganze. Außerdem zeigen sich Qu-gefüllte Durchtränkungskanäle deutlich durch den beidseitigen Bi-Saum. In ihnen, oder knospenartig neben ihnen augenartige KF-Großindividuen, rings von Myrm-Warzen gesäumt. Um solche KF-Bäuche hat sich der Bi ebenfalls herumgelegt (Abb. 7).

**Zu 3.** Außer den eben beschriebenen diffusen Imbibitionszonen gibt es aber auch Trumgesteine mit Mischcharakter. Ziemlich hell, sind sie doch trotz einzelner rundlicher porphyrtartiger KF in relativ kleinkörnigem Grundgefüge von dem sonst auftretenden Flasergranit unterscheidbar, freilich mehr im Phänotyp als bei einer mikroskopischen

Abb. 7. Quarzkanal im Schiefer mit Kalifeldspatknospe; die Biotite des Schiefers (ms) sind an den Saum gedrängt. Schönberg.

Physiographie: Plag, der an die KF-Größe herankommt; ausgelängte Linsen von Qu, von Bi-Fetzen gesäumt; im Grundgefüge noch filmartiger KF. An den Rändern von Großindividuen Kleinkornbildung der herumgeschmierten Flaserung. — In manchen dieser Gänge, die modal und strukturell nichts wesentlich Unterscheidendes gegen die eben genannten haben, finden sich trotz reichlichem Mi in der Grund,,masse“ keine Porphyroblasten. Trotzdem gehen auch von solchen (diskordanten) Trümmern die oben beschriebenen (akkordanten) Imbibitionsbänder aus. Daß im Innern des Trums kein KF einsprenglingsartig auftritt, gegen den Rand aber und in den Bändern große KF vorkommen, könnte man auf eine induzierende Wirkung der Schiefersubstanz zurückführen; mit der Menge der KF-Substanz hat es jedenfalls nichts zu tun.

**Zu 4.** Die Schiefer. Als ursprünglicher Schiefer, an dem die Imbibition stattfindet, steht ein Qu- und FS-führender Ho-Bi-Schiefer von gleichmäßig kleinem Korn und stiffer Regelung an. Farbzahl 33, Ho: Bi wie 14,5:10. Nur einige größere, gern quer gestellte Plag, die dann einen serizitierten Kern und Mafitämöben haben, schalten sich ein, sonst ist der Plag (30—35% An) klar. Die grüne Ho mit einem Stich ins Blaue. Reichlich Apatitbestreuung. Stellenweise häufen sich die mafitgefüllten Plag, denen wir auch weiterhin bis in die Diorite begegnen werden. Ihre Wälzung in der Schieferung zeigt die Abb. 8; zum Teil sind sie postkristallin weitergewachsen und tragen so zur Entregelung in Richtung einer Hornfelsstruktur bei. In diesen Gesteinen ist oft auch ein Teil der Ho-Schuppen zu kleinen strichartigen Zügen zusammengefaßt. — Als verschleppte Einschlüsse in pegmatitischen Trümmern finden sich diese Gesteine relativ ursprünglich: so gefördertes Material führt überwiegend Ho und ist im übrigen wie der anstehende Schiefer struiert. Am Kontakt gegen das Trum eine feinkörnige mafitarme Zone, die nur Bi hat.



Zusammenfassend läßt sich vorläufig sagen: Unter den Schönberger „Dioriten“ gibt es strukturell unfertige, d. h. aoritische Gesteine<sup>1</sup>, bei denen eine ± saigere OW zichende Streckung auf die ebenso streichenden Schiefer hinweist, und bei denen ein granoblastischer Charakter meist so deutlich ausgeprägt bleibt, daß sie sich von „normal magmatisch-massigen“ Dioriten unterscheiden. Schließlich wird in einzelnen Schlieren, analog aber auch in größeren Partien — oft unter Einschaltung von KF-Substanz — eine Konvergenz zwischen Schiefer und Diorit vollkommen. Daß Wärme für eine hier zu rekonstruierende Mobilisierung eventuell bis zur teilweisen Auflösung vorhanden war, zeigt der Granit, der das Gestein von Gängen aus durchtränkt, dessen stoffliche und modal-modifizierende Wirkung freilich örtlich beschränkt bleibt. Die Art der „Imbibition“ zeigt jedoch, daß der Granit den Komplex in einem Zustand geringer Reaktionsträgheit vorgefunden hat. So unterscheiden sich die ektekischen Schlieren (im Gegensatz zu den sofort granitischen Imbibitionsbändern) auch modal und strukturell nur graduell von dem nicht mobilisierten Gestein<sup>2</sup>. Für eine Aufarbeitung von eigenem Material spricht auch die Tatsache, daß der Plag der dioritischen Partien mit dem der Schiefer im An-Gehalt parallel geht: so liegen südlich Schönberg manche Schiefersetzen wie auch ihre dioritischen Schlieren im Oligoklasbereich; in Schönberg wie auch in Zell über Gronau nach Osten haben wir in den entsprechenden Gesteinen Andesine. Es läßt sich nämlich von Gronau nach Osten eine Schieferkomponente bis fast nach Schannenbach verfolgen. Besonders an der Westflanke des Schillerberges steht ein im Handstück streng parallel textiertes Gestein an, das im Dünnschliff ein Zwitter zwischen

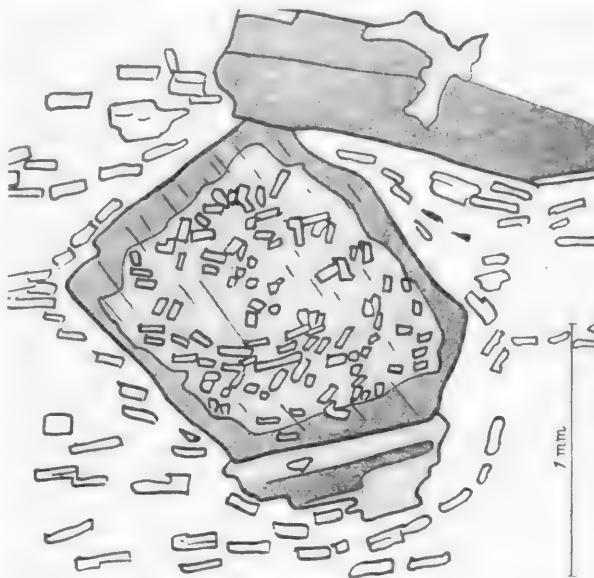
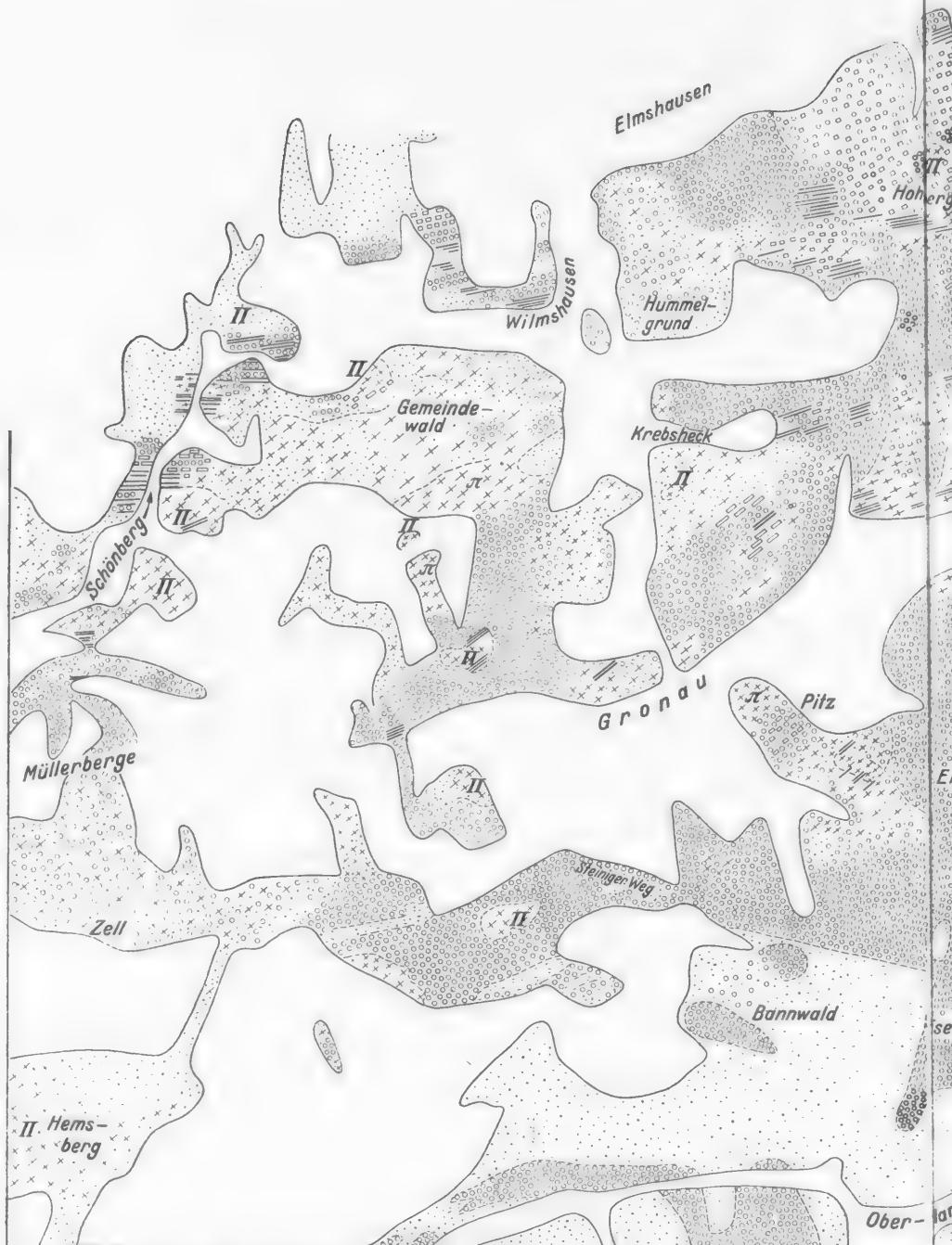


Abb. 8. Internrotation von grüner Hornblende (ohne Signatur) in Feldspatporphyroblasten mit verglimmerter Hülle.  
Schönberger Schiefer.

<sup>1</sup> Im Hinblick auf die Verhältnisse an der Ludwigsrast scheint es mir so, als ob ein dezimeterweises Nebeneinander von Partien, die insgesamt mobilisiert, mit solchen, die insgesamt unverändert vorliegen, ebenso häufig vorkommt wie der Fall, daß säuberlich alle Felsite „herausgeschmolzen“ und die Mafite als Paläosom übriggeblieben sind.

<sup>2</sup> Beim Einfluß kalireichen Nachbargesteines wird entweder die Ho zu Bi umgebildet, oder aber KF erscheint in eigenen Individuen, oder es tritt beides zugleich ein. Daher läßt sich oft schwer etwas über ein ursprüngliches Ho: Bi-Verhältnis aussagen. Wo hingegen Bi stärker resorbiert wird als Ho, dürfte es sich eher um anatekstische Überarbeitung eines ursprünglich Bi-reicher Gesteins handeln (vgl. Anmerkung 2, S. 448).



Petrographische Übersichtskarte von Erwin Nickel (aufgenommen 1847)

Die dioritischen Gesteine im Granitverband östlich Bensheim (Odenwald)

ca 200 300 500 m Höhe

Ho - Hohberg (375 m)  
 Kn - Knodener Kopf (311 m)  
 Se - Seidenbuch (375 m)  
 He - Heiligenberg (493 m)  
 Ei - Eichelberg (392 m)  
 Es - Eselsberg (435 m)  
 Li - Lindenfels (953 m)  
 H - Hemsberg (260 m)



Meßtischblätter

- ① Neunkirchen
- ② Zwingenberg
- ③ Bensheim
- ④ Lindenfels

0 1000 2000 3000 m

Linden-  
stein \*



Hornfels und gestrecktem Diorit ist. Als Mafit tritt überwiegend Bi auf, der Plag um 40% An. Weiter östlich am Schliebenbach ganz ähnliche Gesteine als Einschlüsse im flasrigen Granit, der überall diese amphoteren Gesteine durchsetzt. Hier entsteht die Paralleltextur des Handstückes durch strichartig angeordnete Ho-Züge, dazwischen ein feinerkörniges Hornfelsgefüge mit Bi-Leisten und Oligoklas mit Qu. An größeren Plag sieht man, wie ursprünglich eigengestaltigen Individuen erst nachträglich ein verzahnter Umriß gewachsen ist. Auch dort, wo Mi-Filme reichlicher werden und der Graniteinfluß auch stofflich spürbar wird, sind hin und wieder gefügefremde, von der Schieferung umgangene Plag-Linsen anzutreffen, die wie ausgewalzte Gerölle aussehen. Bestärkt wird man in dieser Auffassung, wenn man zum Vergleich Gesteine aus der Heppenheim-Lindenfelser Schieferzone heranzieht, die Ähnliches zeigen. (Qu-Gerölle in ms vom Krummen Joch bei Kirschhausen und anderswo.) So weisen die Schiefer rückwärts bis zu sedimentären Ausgangsprodukten und nach vorn bis zu dioritischen Ausbildungen und Konvergenzen zu echten Magmatiten.

### 3. Kartierungsübersicht.

Am Schluß des vorigen Kapitels wurde darauf hingewiesen, daß die Schiefer, die im Schönberger Gebiet anatektische Züge aufweisen und allgemein einem N 75O bis O-Streichen nachkommen, sich nach Osten zu weiter verfolgen lassen. Noch am Hohberg und am Hahn treten Schiefer mit dieser Streichrichtung auf; während dann am Knodener Kopf und weiter östlich eine N 70 O-Richtung überwiegt, der dort alle auftretenden Gesteine gleichmäßig nachkommen. Wo die Schiefer mit Diorit verzahnt sind, herrscht das OW-Streichen vor, wo sie am Granit anstehen, dreht die Streichrichtung in das varistische NO; die Granite selbst haben ihre Flaserung N 50 O<sup>1</sup>.

Da also die mit dem Schiefer zusammen auftretenden „flaserigen Diorite“ ihre bankig-fladige Absonderung akkordant mit den Schiefern stellen und wie diese steil einfallen, liegt die Vermutung nahe, daß auch jene Diorite gleich den Schönberger durch Gefügelockerung aus den Schiefern abzuleiten seien; diesen Eindruck gewinnt man durchaus bei der Begehung des Geländes. Es müßte sich eine petrogenetisch-zusammenhängende Zone mit präanatektischen Schieferresten von Schönberg nach Osten ziehen, die — von Mischgesteinen gesäumt und von Granit durchzogen — bis in den Diorit des Heppenheim-Lindenfelser Hauptzuges hineinreicht und eventuell auch eine Grenze zwischen „Diorit“ und Gabbros abgibt. Für einen solchen Aufweis genügen aber die vorliegenden geologischen Aufnahmen nicht, so daß eine für diesen Zweck geeignete Kartierung neu in Angriff genommen wurde<sup>2</sup>.

Die Neukartierung geschah in 1:10000, sie lehnt sich im SO an den Heppenheim-Lindenfelser Diorit-Hauptzug an, erstreckt sich im Westen bis zu den

<sup>1</sup> Im vorigen Kapitel wurde bei der Frage nach dem thermischen Lieferanten auf den imbibierenden Granit verwiesen. Man könnte meinen, daß also in Gr-Nähe der ms durchweg dioritisiert vorläge. Dem ist nun nicht so: Wir finden sowohl Schiefer neben Gr als auch (zum Teil KF-führende) Mischgesteine ohne deutlichen Granitrahmen. M. a. W.: Wir beobachten „oberhalb“ des Niveaus, in dem die Mobilisierung ihren Herd hatte.

<sup>2</sup> Die geologischen Karten stammen von CHELIUS und KLEMM; es zeigte sich, daß die ältere CHELIUSsche Konzeption oft brauchbarer ist als die KLEMMsche, trotzdem letztere weniger schematisiert.

unter dem Diluvium versinkenden Höhen gegen den Rheingraben und findet im Norden durch die Reichenbacher Talzüge eine Grenze. Das Gebiet liegt im Schnittpunkt der geologischen Karten (Hessens): Lindenfels, Bensheim (Zwingenberg), Neunkirchen.

#### a) Südteil.

Im südlichen Teil wurde die schon bei ERDMANNSDÖRFFER [22] erwähnte Unstimmigkeit am Eselsberg bei Hambach berichtigt und der Dr an der Ostflanke des Lindensteins neu abgegrenzt. Der Übergang  $G_2/G$  zwischen Eichelberg und Heiligenberg wurde bestimmt und dem NW-Abhang des Märkerwaldes<sup>1</sup> eine neue Gliederung gegeben: Die Grundsignatur wird dioritisch. Hingegen muß (in Übereinstimmung mit der CHELIUSSchen Karte) die Grenze des granit-durchtrümerten Gebietes südlich von Schannenbach durchgelegt werden. Das Eindringen des Graniteinflusses in den Diorit und die Schieferreste zielt wohl bis zu den Granitpegmatiten des südlichen Seidenbuch. Es sei betont, daß sich Trümer von G und  $G_2$  auch dort finden, wo die Signatur einfach ist; immerhin schälen sich doch folgende Komplexe heraus: der jüngere kleinkörnige Granit, stellenweise von völlig aplitischem Charakter, der den Dr von Heppenheim bis Oberhambach durchsetzt und einschließt (ohne Mischgesteine zu bilden<sup>2</sup>), verliert sich zwischen Eichelberg und Heiligenberg und wird durch einen gröberkörnigen Granit abgelöst, der seinerseits wieder in den porphyrtartigen flasrigen G übergeht. Einzelne  $G_2$ -Gänge, zum Teil pegmatitisch, in der üblichen Weise Schiefer injizierend (so an der Steinbruchstraße nördlich des Saubacher Berges), finden sich nach Norden zu immer; porphyrtartige Granite hingegen nicht nach Süden zu im  $G_2$ -Bereich. Diese Trennung entspricht im wesentlichen der CHELIUSSchen Gg/G $\pi$  Verteilung.

Besondere Schwierigkeiten macht die Kartierung des durch Diluvialbedeckung zum großen Teil verhüllten Westabschnittes der sanften Hänge bei Zell und Gronau. Hier steht ein Granit an, der (obwohl selbst nicht grobkörnig) von einem noch feinerkörnigen bis aplitischen Granit durchtrümert wird. Man würde den gröberen für sich allein zum  $G_2$  stellen, zumal er ohne feststellbare Grenze nach Süden dem „eigentlichen  $G_2$ “ Platz macht. Vermutlich läßt sich — wie schon bei den Trommgesteinen angemerkt — zwischen diesen beiden Graniten überhaupt keine scharfe Trennung aufrechterhalten<sup>3</sup>.

In der Reihenfolge

porphyrtartig grobkörnig massig
porphyrtartig grobkörnig flasrig
gleichmäßig grobkörnig flasrig
gleichmäßig feinkörnig flasrig
feinkörnig bis aplitisch

wird man die Zäsur zwischen G und  $G_2$  verschieden ansetzen, je nachdem, welche Variante den jeweils herrschenden Typ durchsetzt. Da sich im Grus

<sup>1</sup> Wie aus der Karte ersichtlich, gibt es sowohl im Südteil (Dr-Hauptzug) wie im Nordteil (Schillerberg) des Kartierungsgebietes einen Märkerwald.

<sup>2</sup> Auch das Erlenbacher Gestein ist, wie ERDMANNSDÖRFFER [22] darlegt, kein  $G_2$ -Mischgestein.

<sup>3</sup> Das entspräche dem Verfahren, welches DORIS KORN für den Böllsteiner Odenwald anwendet, wo sie die Scheidung in „älteren“ und „jüngeren“ Granit (bzw. Gneis) nicht anerkennt [19].

praktisch G und  $G_2$  nicht trennen lassen, habe ich eine Sammelsignatur einführen müssen. Dazu kommt, daß im fraglichen Gebiet der Granit reich an Dr-Schollen ist, die einzeln zu erfassen unmöglich ist; gegen einheitliche Dioritgebiete nehmen die Schollen zu. Eine exakte Grenze ist nicht aufzuweisen. — Die  $G_2$ -Variante überwiegt dort, wo die Schollenführung reichlich wird. Das scheint nicht zufällig zu sein: In den Kiesgruben westlich des Eichelsberges („In der Pitz“ bei Gronau) finden sich längs der G-Flaserung auseinandergezerrte Schollen und Fetzen von Schiefer, die zum Teil an den Rändern resorbiert und durchadert sind. Im Resorptionssaum ist der Granit feinkörnig als außerhalb. Ein Gleches am Krebsheck und dem Wäldchen östlich davon, wo die Korngröße je nach dem Mafitgehalt wechselt: reine Granite recht grob (Kiesgrube Krebsheck = dem G von der Gronauer Friedhof-Südmauer), solche mit ms- und Dr-Zwischenschaltungen feinkörnig gestreckt<sup>1</sup>.

Für den beschriebenen Abschnitt ist also die Doppeldeutigkeit des Granites bezeichnend. Auffällig sind nun die nestartig eingeschalteten porphykartigen Partien. Der Hemsberggranit nimmt eine größere Fläche ein, hangabwärts verwischt sich der porphykartige Charakter. Begrenzter ist das Auftreten östlich der Zeller Bordmühle am Steinigen Weg und nördlich davon am Gaisberg. Genau in nördlicher Verlängerung liegen im Pfaffenrech und dann zwischen Schönberger Gemeindewald und Wiesenbergs noch je eine kleinere Partie. An der Straße Bensheim-Schönberg ist im G an der Leistenmühle links der Straße eine Durchtrümmerungszone  $G_2/G/Dr$ , wie es schon KLEMM angibt. Grobporphyrisch tritt der G aber erst rechts der Straße auf und zieht sich bis zu den Mischgesteinen im Ort Schönberg selbst. Daselbst gibt CHELIUS zuviel Dr und G an, denn es überwiegen Schiefer und im Norden der  $G_2$ . Letzterer begrenzt dann das Aufnahmegericht nach NW. (Daß hier der nach dem Verband notwendig als  $G_2$  zu kartierende Granit sogar zu porphykartiger Tendenz kommt, wurde schon erwähnt; CHELIUS trennt hier einen Typ „Grhπ“ ab).

Das Gebiet nördlich Gronau zum Krebsheck wird bei CHELIUS einfach als  $G_2/G/Dr$ -Gebiet weitergeführt. KLEMM kartierte Gh, verbesserte sich aber in der Übersichtskarte in  $G_2$ . Der Granit an den Südängen ostwärts Gronau fängt zuerst als wenig porphykartiges Flasergestein an, ist aber östlich der Linie Rehklingen-Hauroth (und zurückbiegend zum Hohberg) ausschließlich porphykartig; eine Durchtrümmerung durch jüngere Ganggranite fehlt. Die sich schon nördlich Gronau einschaltenden Mischgesteine werden bei der Besprechung Hohberg-Knodener Kopf abgehendelt. — Erwähnt sei noch, daß die diffizile Naht zwischen Mischgesteinen und porphykartigem Granit am Aspenforst sowohl von CHELIUS als auch von KLEMM gesehen wurde, von CHELIUS als Grenze zwischen  $G\pi Dr$  gegen  $G\pi Gh$ , von KLEMM aber als Grenze  $GDr$  gegen  $Gms$  aufgefaßt wurde. Damit stehen wir wieder in der Problematik der Mischgesteine.

Zuvor aber sollen noch einige allgemeine Angaben über die dioritischen Gesteine gemacht werden. Sie sind zum größten Teil flasrig mit bankiger Ab-

<sup>1</sup> Aber auch in von vornherein feinkörnigem  $G_2$ , wie in dem von der Tagesmühle bei Hambach, der gegen die Schanze zu bis zu graphisch-pegmatitischer Ausbildung variiert, finden sich Resorptionsbänder um Dr-Schollen. Während granitoide Apophysen (in den Einschluß hinein) Bi führen, haben gewisse Schlieren, die völlig innerhalb des Einschlusses liegen, Ho-Führung.

sonderung, die durch die Verwitterung zu Fladen herausgearbeitet wird. Obwohl in vielen Fällen reichlich Schiefermaterial vorhanden ist, wurde, wie schon erwähnt, dort keine besondere Signatur eingeführt, wo nicht größere Klippen von Schiefer anstehen. So erscheint der Dr-Hauptzug — soweit er von der Kartierung erfaßt wurde — trotz seiner inneren Differenziertheit einheitlich. Dadurch aber hebt sich um so deutlicher der rudimentäre Schieferzug im Norden ab. In allen Teilen finden sich, von flaserigem Gestein umgeben, massive Diorite. Weil diese vorzugsweise gebrochen werden (Steinbrüche am Märkerwald), fallen sie mehr auf als ihrer Verbreitung entspricht. In ähnlicher Weise sind kleine Hornblenditnester im Dr zu finden; bis auf das Vorkommen bei Oberhambach gehören sie aber in den Nordabschnitt der Kartierung (s. dort). — Als Streichrichtung (der Flaserung) erscheint häufig O bis ONO bei saigeren oder schwach nach Süden einfallenden Bänken<sup>1</sup>. Daneben freilich auch N 50 O, also die Richtung der Granite. In einem kleinen Bereich bei Gronau (Nähe Kreuzung von Totenweg mit Steinigem Weg) wurde gemessen: G 50, Dr in G 50, Dr 50, Dr 75, Dr 90, Dr 90, G<sub>2</sub> in Dr 90. Man sieht, wie sich 2 Richtungen in ihren „Kompetenzen“ gegenseitig beeinflussen. — Die Fleckengesteine des Südteiles, also die im Dr-Hauptzug, wurden nicht näher untersucht, da sie wenig reliktische Züge tragen und mehr auf Umkristallisationen innerhalb des magmatischen Bereiches hinweisen; vgl. auch ERDMANNSDÖRFFER [22], S. 61 oben.

Nach Süden und Westen zu verliert sich der Diorit in Granit, gegen den Lindensteine in G<sub>2</sub>; von Gronau nach Westen zu in jenen mittelkörnigen, selbst wieder aplitisch durchtrümmerten Granit von Zell usw. Die Grenze ist, wie gesagt, vermutlich genetisch nicht scharf zu ziehen. Auch innerhalb des Diorites variiert das Gefüge, an homophaneren Stellen hat er selbst wieder Schiefereinschlüsse, wie am Straßenknie westlich Gronau nach Zell<sup>2</sup>. Das bedeckende Diluvium verschleiert nähere Zusammenhänge.

<sup>1</sup> Eine andere bevorzugte Richtung des Gebietes ist N 60 W; sie tritt neben N 30 W als Klüftung N 50 O flasernder Granite auf (Dengelberg im G, Absbrunnen im G<sub>2</sub>); Klüftung und Flaserung hierbei ± saiger. Das gilt für Granit und Diorit; manche Dr-Klippen vom Lindenstein ziehen sich auf diese Weise vom Gipfel herab. — Erwähnt sei hier auch die Divergenz von Streckung und Klüftung in einem Mischdioritaufschluß vom Nordhang bei Zell:

Streckung N 60—65 O; nach N mit 65—70 einfallend.  
Klüftung N 25—30 O; nach S mit 50 einfallend.

Bei der Abnahme des Streichens ist infolge der saigeren Stellung besondere Vorsicht geboten, da sich erwies, daß auch viele der „anstehenden Klippen“ leicht gekippt oder verdreht waren. Die meisten Blöcke liegen überhaupt flach, sind zum Teil an der Basis zugeschüttet und machen so den Eindruck von gewachsenem Fels.

<sup>2</sup> Die anstehenden Felsen sind sehr uneinheitlich; es überwiegt ein dioritisches Gestein mit Strukturen bis zu Bi-Ho-Plag-Schiefern. Stellenweise sind große serizitierte und quarzdurchlöcherte Plag (35% An) in Schlieren angereichert. In Übergangspartien fällt eine stärkere Anreicherung von Zirkon und Apatit auf. —

Als Beispiel einer Struktur des Diorits vom Nordhang bei Zell sei genannt: poikilitische braun-grüne Ho um serizitierte Plag-Leisten, einzelne Großplagioklasse umschließen ganze Stücke solcher durchsiebter Ho. Außerhalb der großen Plag ist eine grüne Ho zum Teil in verfilzten Nadeln weitergewachsen, die serizitierten Feldspatleisten haben einen unzersetzen Mantel. Bei den Großplag (Byt-Labr) ist nicht der Kern, sondern eine mehr peripher liegende Zone serizitiert, das Innere oft durch Qu ausgehöhlt.

*b) Nordteil.*

Das bisher Besprochene gab den engeren Rahmen für die Verhältnisse im nördlichen Abschnitt der Kartierung. Hier ist nämlich mit einer Eintragung Diorit, Granit, Schiefer nicht weiterzukommen. Es überwiegen Gesteine, die durch gewisse Erscheinungen ihren hybriden Charakter verraten. So ist sicher ein porphyrtartiges Auftreten von KF in Dioriten, die zu Schiefern hinweisen, anomal (s. a. [35]). Die Zusammenballung von Mafit in Gesteinen mit noch erkennbarem Schieferungs-s ist auffällig. Einschaltungen von massigem Dr in intermediären Bi-Fleckengesteinen schließlich und Homogenisierungerscheinungen im Graniteinflußbereich gestalten die Verhältnisse nicht einfacher.

Wenn wir vom Hummelscheid (nordöstlich Gronau) einen Streifen nach Norden ziehen, so queren wir zuerst einen Granit, der N 80 O streichende Schiefer injiziert und ein Gestein bildet, wie es vom Steinbruch „am Berge“ (bei Knoden) bekannt ist. Dann tritt der Granit  $G\pi$  selbständig auf, wird aber bald von einem dioritähnlichen Gestein abgelöst, das vereinzelt große KF im paralleltexturiert-flächigen Gefüge enthält. Dann tritt wieder porphyrtartiger Granit auf, alternierend mit flasrigem Dr, in dem nestartig — zum Teil auf der Karte angedeutet — massiger Ho-reicher Dr vorkommt. Sodann wieder jene KF-„Diorite“. Der Granit ist zum Teil hier kleinerkörnig. Schließlich stehen wir auf den  $G\pi$ -Klippen des Hohberg-Ostgipfels. Der Nordhang beginnt oben mit einem indifferenten Dr, der aber bald in ein parallelstruiertes Bi-reiches Gestein übergeht, das sich durch gelegentlich wolkige Anhäufungen von KF und Einschlüssen von homophanem Diorit als problematisch erweist. KLEMM hat den gesamten Komplex als G (bzw. Gfl) kartiert. In der neueren Übersichtskarte schied er das Bi-reiche Gestein des Nordhanges als Dr aus<sup>1</sup>. Geht man vom Ost- zum Westgipfel, so verschwindet der  $G\pi$ , dioritische, granit-durchtrümerte Gesteine stehen an, dann folgenakkordant der Schieferung durchaderte Gesteine, die zuerst wie die Diorite N 70 O, im Westen aber OW ziehen und (nach Einschaltung einiger massiger Dr) in undurchtrümerte Schieferklippen ausmünden. — Die NW-Flanke nimmt ein genetisch undurchsichtiger Dr ein, der sowohl Übergänge zum Bi-Diorit nach Osten als auch zum westlich sich fortsetzenden Dr fl ( $G_2$  durchtrümert) hat. CHELIUS sah das: seine „Gh-Gang“-Eintragung weist wie auch sonst auf die Problematika. Darüber werden wir noch Näheres in der Physiographie zu sagen haben.

Jedenfalls ist der größte Teil des Hohberges dioritisch, nicht wie KLEMM zeichnet, von granitischem Phänotyp; wenn auch zweifellos alle diese Gesteine eine gegenseitige Beeinflussung verraten. Erst weiter östlich beherrscht der Granit das Feld. Der Hahn mit seinen Mischgesteinen steht wie eine Insel im varistischen Streichen des  $G\pi$ : Zwischen O und N 80 O ziehenden Schiefern und Diorit finden sich granitische, dioritähnliche inhomogene Mischungen. Noch einmal wird dann am Aspenforst die OW-Richtung betont. Hier schwenkt sogar einmal der Granit in diese Richtung und flasert akkordant den Schieferklippen, die er zum Teil zu granitoiden Mischgesteinen aufarbeitet. Dann überwiegt wieder der dioritische Charakter; Schiefer, die zu Fleckengesteinen

<sup>1</sup> Dadurch stellt er es mit Recht zu den Gesteinen, die nach NO den Hinkelstein usw. zusammensetzen. Aber er unterscheidet nun nicht mehr von den zweifellos anders gearteten „üblichen Dioriten“ des West- und Südgebietes.

umgebildet sind, lassen sich relativ leicht ausscheiden (Schliefenbach), schließlich aber wird in Richtung Dengelberg der dioritische Charakter so indifferent, daß die nach der Anlage im ganzen zweifellos vorhandene Zwitterstellung im Einzelnen schwer aufzuweisen ist. Immerhin geben Einschaltungen einwandfreier Mischgesteine Hinweise, daß wir uns in der granitdurchtrümmerten Mobilisierungszone befinden.

Der Knodener Kopf beginnt im Westen (gegen Hauroth) mit der schon vom Hohberg erwähnten Folge: ms, Gms, Misch-Dr, Dr. Letzterer nimmt die Westflanke ein. Er hat massenweise Schiefereinlagerungen, aber auch hornblenditische Nester. Der eigentliche Kopf besteht aus dioritisierten Schiefern, die saiger N 70 O streichen und nach Osten zu in wachsendem Maße von porphyrtigem Granit akkordant durchsetzt werden. Weiter ostwärts überwiegt die granitische Komponente, um „Im Forst“ einem eigentümlichen gestreckten Gestein Raum zu geben, das schieferige mit dioritischen Zügen verbindet und mittelkörnig gestreckt N 70 O zieht. Eine Verbindung mit dem Glattbach-Kolmbacher Schieferzug ist nicht erschlossen, ob die bis hierher verfolgbaren Schiefer mit jenen etwas zu tun haben, ist noch zu untersuchen. Zu fragen bliebe dann auch, was die Zerstückelung dieses Zuges bewirkt hat. Wir kommen somit wieder auf das Problem der Dioritisierung, das seit dem 1. Kapitel aufgeworfen ist.

Nach dieser allgemeinen Skizzierung wird es nun notwendig aufzuweisen, was im Einzelnen dazu geführt hat, diesen und jenen Typ als Mischgestein anzusprechen. Die Verhältnisse legen es nahe, einen granitischen Einfluß zu eliminieren und Übergänge zu definierbaren Endgliedern zu finden. Selbstverständlich bedeutet die Feststellung, daß ein Gestein mit Granit zum Mischgestein wurde, nicht, daß ein beigemischter granitischer Anteil auch in jedem Falle die zur Aufarbeitung nötige thermische Energie unmittelbar mitgebracht hat. Es wäre wahrscheinlicher, daß beide aus einer gemeinsamen thermischen Quelle ihren reaktionsfähigen Zustand erhalten haben. Damit kommt dann die Frage, ob die Schiefer-Diorit-Verzahnung von hier aus eine Erklärung findet.

#### 4. Physiographie wichtiger Typen.

In nachfolgendem sollen an Hand von Einzelbeispielen die angeschnittenen Probleme aufgewiesen und diskutiert werden, wobei wir versuchen werden, einen gemeinsamen Nenner herauszuarbeiten.

##### I. Diorithauptzug.

###### a) Dioritmigmatite vom Seidenbuch.

An der Grenze des Granites zum Diorit, zwischen dem Steinbruch „am Berge“ und dem Seidenbuch, schon im Diorit, stehen mannigfache Typen an:

1. massig homophane Ho-„Diorite“, dunkel mittelkörnig,
2. desgleichen hell-dunkel getigert, grobkörnig: Ho-Fleckengesteine,
3. gestreckte dioritische Typen mit schwankendem Ho-Bi-Quotienten: Dr fl,
4. desgleichen jedoch fast ausschließlich Bi führend und mit ausgeprägter Streckung: zu den „dioritischen Gesteinen im Granitbereich“ gehörig (siehe weiter unten unter Aspenforst usw.),
5. flasrige, pegmatitisch durchtrümmerte Qu-Bi-FS-Gesteine,
6. amphibolitische Einschlüsse und solche von Ho-Bi-Schiefern.

U. d. M. zeigt sich, daß nun keineswegs die zuerst aufgezählte Variante einem „normal magmatischen“ Diorit entspricht. Vielmehr sind Parallelen zu ziehen zu dem Ho-Fleckengestein der Nr. 2: während letzteres durch Zusammenballung der Mafite und Umkristallisation des Zwischengefüges homophanen Charakter hat, ist bei ersterem eine gewisse Gleichförmigkeit dadurch erreicht, daß die Textur des Mafitgerüstes bei der differenziellen Resorption seitens des Plag weitgehend erhalten blieb. Das Mafitgefüge weist aber auf Amphibolite hin. — Zwischen diesen beiden Auflockerungsformen von Altgefüge vermitteln die Ausbildungen 3. und 4., bei denen eine alte Schieferung, wie sie in Einschlüssen 6. auftritt, als Flaserung erhalten ist. Der Typ 5. zeigt den granitischen Einfluß in diesem Aufschlußgebiet. — Im einzelnen zeigt sich folgendes<sup>1</sup>:

*Typ 1.* Das Mafitgewebe (grüne Ho mit etwas Bi, wenig aber großen Apatitkörnern. Epidotlinsen im Bi) ist völlig zu einem xenomorphen Netzwerk mit *rundlichen, wie angeschmolzen* aussehenden Umrissen resorbiert, aber nur an einigen Stellen zusammengeballt. Der jüngere Plag (Schwerpunkt des An-Gehaltes 42% An), der zum Teil auch unter sich xenomorph gepflastert bis verzahnt ist, umschließt die Ho oder durchsetzt sie filmartig. Er zeigt sich in Kernen reichlich serizisiert. Einzelne isolierte Ho-Brocken „schwimmen“ im FS-Gefüge. Quarz nur vereinzelt in Restecken. Große Apatite in der Ho. Trotz massig dioritischen Phänotyps also ein durchaus unmaggmatisches Gefüge. Derartiges findet sich auch im „Diorit“ des Ober-Ramstädter Steinbruches. Wie sich Frau Dr. M. PETERS-RADZYK und Verf. an Ort und Stelle überzeugen konnten, ist das dort anstehende Gestein unter den gleichen Aspekten problematisch und in bezug auf seine Herkunft — magmatisch oder anatektisch-migmatisch — indifferent. Wenn sich also in den hier behandelten „Dioriten“ Gefüge finden, die durchaus denen von Ober-Ramstadt entsprechen, so besteht Anlaß, bei der Diskussion der Genese ausdrücklich auf die dort angestellten Überlegungen hinzuweisen. Das gilt auch insbesonders für die „dioritischen Schlieren“ des dortigen Bruches, die meiner Ansicht nach mit den hier auftretenden, zum Teil sicher anatektischen Schlieren zu parallelisieren sind. Ich wiederhole hier den Hinweis des 2. Kapitels, daß Ho-Schlieren in Bi-führenden Gesteinen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit als anatektisch zu deuten sind<sup>2</sup>. Die Resorption von Ho und Bi durch Plag, wobei dieser dann von Resten des Mafites gefüllt sein kann, eine Erscheinung, die wir schon bei den Schiefern hatten, scheint von größerer Bedeutung zu sein. Ganz allgemein muß hier die Frage aufgeworfen werden, *wohin das Mg geht, wenn Plag auf Kosten der Mafite wächst*, bzw. die Mafite auflöst und sich an ihre Stelle setzt. In bezug auf den Bi scheint es außerdem fraglich, ob alles Kali in das Plag-Molekül eingebaut werden kann.

<sup>1</sup> Eine durch Einschlüsse induzierte Kornvergrößerung der Ho scheint auch bei der Bildung mancher „Dioritpegmatite“ (CHELIUS) eine Rolle zu spielen. Manche sind wohl direkt auch als Assimilations-Differenziate zu deuten. — Auch im Gh, also hellen Quarzdioriten von Kirschhausen, Erbach u. a. zeigt sich oft im Resorptionsbereich von Einschlüssen eine Mengen- und Größenzunahme der leistigen Ho, selbst dann, wenn der Ho-Bi-Quotient des Einschlusses nicht dafür spricht.

<sup>2</sup> K. R. MEHNERT läßt sich (im Mitteilungsblatt der Badischen Geologischen Landesanstalt 1947, das mir erst nach Abschluß des Manuskriptes in die Hände kam) anläßlich der genetischen Gliederung des Schwarzwaldes folgendermaßen aus: „Der Gesteinsverband ... wird durch diese ... regionale Anatexis ... verändert. ... Gleichzeitig wird der Mineralbestand durch neugebildete oder weiterwachsende Minerale verdrängt: bei reiner Ektextis meist Bi, Plag und Qu (Plagioklas-Metablastesis, MEHNERT 1940). — Nach G. REIN 1947 tritt in den vorgeschrittenen Stadien oft Ho an die Stelle von Bi und Or an Stelle von Plag, so daß die Gleichung gilt:



Während die linke Seite der trondhjemitischen Zusammensetzung rein anatektischer Gesteine entspricht, führt die rechte Seite zur Bildung syenitischer Gesteine. Es muß jedoch i. a. bei der Reaktion nach rechts eine Zufuhr gewisser Substanzen (hauptsächlich K) angenommen werden.“

*Typ 2.* Zwischen mehr oder weniger idiomorph-leistungem bis rundlichem Plag und zurücktretendem Qu in „Löchern“, finden sich durchlöcherte Fetzen von größeren Ho-Bi-Zusammenlagerungen. Größere einheitliche Ho-Individuen, die Eier von Plag einschließen, möchte ich so deuten: Ein spätes Wachstum des Amphibols<sup>1</sup> — während des Homogenisierungsprozesses — schließt Plag des Grundgewebes ein, wird aber von einer letzten Resorptionsphase überholt, wobei (die beim Abbau des Amphibols) an die Oberfläche kommenden Plag-Eier angelöst und neu auskristallisiert werden. So wird auch die Abb. 9 verständlich. Der An-Gehalt der Eier scheint einen Schwerpunkt zu haben, der etwas mehr im sauren liegt als der von den Plag des Außengefüges, wie die Fedorowmessungen zeigen:

Einschlüsse in der Ho:

30, 32, 33, 35, 40, 41, 47

Plag außerhalb: 33, 35, 36, 40, 40, 50, 52

Merkwürdig sind auch die „Eigenamöben“ von Plag. Das sind kleine Plag, die in größeren Wirtsplagioklasen stecken. Letztere eng lamelliert nach (010) und mit Kernen bis zu 90% An. — Die Ho ist mit der von Typ 3 und 4 identisch; die dort beschriebenen Erzpartikel und Apatite finden sich isoliert in den hellen Gemengteilen, das gleiche gilt für die aus dem Bi herausgelösten Epidotlinsen. Der Bi selbst scheint mit Qu zusammenzugehen.

*Typ 3—4.* Grobkörnig-flasriges Gefüge von Plag und Mafit (mit wechselndem Übergewicht von Bi und Ho, wobei ein Teil des Bi aus Ho entstanden sein mag). Rundliche bis prismatische zonare Plag (35—50% An) wachsen zwischen der Flaserung teils unter Einschluß der Mafite im serizitierten Kern, teils unter Resorption derselben, gelegentlich auch durch Beiseitedrägen kleinerer Individuen an die Korngrenzen; die nicht serizitierten Zuwachsrandzonen sind wesentlich sauberer von Mafitresten als die Kerne. In den Bögen der Flaserung und in den Korrosionsbuchten derselben reichlich Qu-Aggregate in Linsen; Qu frißt auch den Plag an. Längs der Flaserung ziehen Körnerreihen von Erz mit Apatit; quergestellte Erzkörperzüge werden von Plag umschlossen. Die Ho ist stark pleochroitisch dunkelgrün bis gelbbraun und fleckig mit fast farblosen Stellen. Braune Kerne haben Erzmikrolithe orientiert eingelagert. — In Gesteinen mit überwiegenderem Bi erscheinen die Plag zonarer, die Korrosion des Bi merklicher, die Flaserung als auch die Erzkörperzüge mehr zwischen idioblastischen Plag „verklemmt“. Die Chloritisierung des Bi beschränkt sich auf Ind, die in den FS-Bereich „abgedrängt“ worden sind.

*Typ 6.* Schlierig durchzogener Einschluß. FS zwischen Lappen von Ho und Bi; aufs Ganze gesehen lassen die Mafite die Schieferung erkennen, im Detail erscheint die Struktur aber schon hornfelsartig verfügt. Zwischen diesem ziemlich kleinkörnigen Gefüge finden sich reichlich im Kern oft serizitierte größere Plag (An % um 45), die Eier von Mafit eingeschlossen haben, bzw. unter Säuberung des Feldes eine idiomorphe Begrenzung

<sup>1</sup> Die von Frau Dr. PETERS-RADZYK als „Ho-Tupfen führenden Gesteine“ gekennzeichneten Abarten des Ramstädter Bruches scheinen entsprechendes durchgemacht zu haben.



Abb. 9. Hornblendeporphyrblast mit Plagioklaseinschlüssen, die bei erneuter Korrasion seitens der Quarz-Feldspat-Matrix zusammen mit der Hornblende angegriffen werden. Seidenbuch.



Abb. 10. Ho-Resorption durch Plagioklas.

durchsetzten. In diesen Amöben-gefüllten bis 5 mm großen Plag ist die Ho häufiger als es dem Ho-Bi-Quotienten außerhalb entspricht. Bei demblastischen Wachstum werden die im Wege stehenden Mafite gelegentlich umwachsen, aber auch glatt abgeschnitten und verdaut, wie die Abb. 10 zeigt. Qu ist reichlich, meist auf Linsen oder bänderartige Aggregate vereinigt. Fleckenweise um Mafite angereichertes blutrotes Eisenoxyd.

#### Vergleich der Modalbestände

	Plag	Qu	Bi	Ho	Akz
1	48	0,5	8	42	1,5
2	67,5	6,5	8,5	15,5	2,0
6	49	6,0	22	22	1,0

#### b) Seidenbuch: Dioritbrüche am Südhang.

Diese Aufschlüsse sind von ERDMANNSDÖRFFER [22] eingehender behandelt worden. Im Hinblick auf grundsätzliche Erörterungen sei einiges davon noch einmal aufgegriffen.

In dem Ho-dioritischen Hauptgestein des Bruches liegen von pegmatitischen Schlieren durchsetzte Schollen von Ho-führenden Bi-Plag-Schiefern als auch

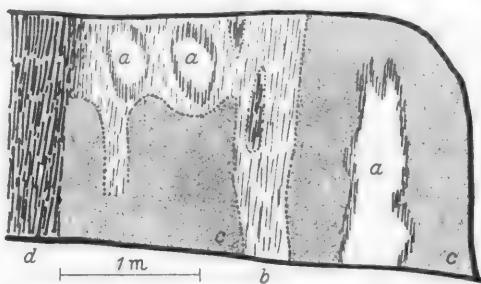


Abb. 11. Pegmatitische Durchtrümmerung, Seidenbuch.

amphibolitischen Gesteinen mit leistungigem, im Kern umgewandeltem Plag (Abb. 11). Der intrudierte Pegmatit (a) hat gegen den Einschluß (c) eine gestreckte Randzone (b) als Auflösungsform<sup>1</sup>, die allmählich nach mehrfachem Alternieren von (b) und (c) in ein straffer gestrecktes Mischgestein (d) übergeht, das durchaus den üblichen gestreckten Dioriten entspricht. Das Profil ist etwa 3 m breit<sup>2</sup>. — Der gestreckte Typ wird also sowohl gegen einen schon überwiegend Bi-führenden Schiefer gebildet, als auch gegen Ho-führende dioritartige Gesteine, die mit einschlußartigem, strukturell sich angleichendem Amphibolit in Verbindung stehen. Die Dr-Schiefer-Konvergenz ist in diesem Falle zweifellos durch die pegmatitische Komponente mitbestimmt. So spricht ERDMANNSDÖRFFER [22] im Hinblick auf die KF-Führung davon, daß „eine anatektische Ableitung aus diesen (Schiefern) allein (von mir hervorgehoben) weniger wahrscheinlich ist“.

Das entspricht der Deutung mikroklinführender Typen, von denen im 1. Kapitel angenommen wurde, daß erst eine stoffliche Zufuhr die restliche Überwindung der Hornfelsstruktur zugunsten eines Dioritgefüges bringt. Ich möchte aber doch daran festhalten, daß ein Großteil der dioritischen Schlieren mobilisiertes Schiefermaterial ist. Die Stellen, an denen sich Schiefer und Diorit berühren, charakterisiert ERDMANNSDÖRFFER so:

„Der Übergang vom Bi-Plag-Schiefer her erfolgt ganz allmählich, erkennbar durch die Zunahme der Korngröße und des Qu-Gehaltes, die bessere Idiomorphie der Plag-Leisten, so daß dioritische Strukturen entstehen. Bi-Strähnen hierin sind aber durchaus hornfelsartig. Die Mafite ballen sich auch mehrfach zu Klumpen und Flasern zusammen“ (S. 67).

<sup>1</sup> Das „gneisartige Zwischengestein“ ERDMANNSDÖRFFERS.

<sup>2</sup> In einem 30 cm breiten Streifen fand sich folgender Wechsel: Ho-Gb massig; Ho-Bi-Dr + massig; Bi-Ho-Dr + gestreckt; Bi-führendes dioritisches Gestein mit relikтивem Schiefer-s. Die Art des Überganges ist bezeichnend.

### Und für die Schlieren insbesondere:

„Die Struktur ist wechselvoll: wo in gewissen Lagen die Korngröße gering ist, gleicht das Bild dem des umhüllenden Plag-Bi-Schiefers, nur ist der Bi weniger in Strähnen als in einem sperrigen Netzwerk, gelegentlich auch in Häufchen angeordnet. Außerdem wird das Ganze mehr „körnig“ durch das Vorherrschen großer Plag, die in glimmerärmeren Lagen mit größeren Qu auftreten, von denen sie korrodiert werden. Das Ganze vereinigt also Züge des Schiefers mit magmatischen, ohne daß scharfe Grenzen zwischen solchen Teilen vorhanden wären, und zweifellos sind die runden Plag der helleren Teile gleichaltrig mit den Megablasten des Schiefers“ (S. 68).

Es sind die gleichen Megablasten, wie ich sie auch in den bisher genannten Bi-Ho-Plag-Schiefern beschrieb und die uns in den flasrigen „Dioriten“ noch weiterhin begegnen werden. Ihr Wachstum ist zweifellos nicht auf stoffliche Zufuhr zurückzuführen. Auch das Wechseln von gleichmäßiger struierten Ho-führenden Partien mit gestreckteren Bi-Gesteinen läßt sich nicht einfach als Schiefer-Diorit-Wechselleage beschreiben. —

So wenig nun die Streckung ein besonderes Kennzeichen für Einschlüsse zu sein braucht, so wenig kann man bei mehr massigen Typen von verwischter Einschlußnatur absehen. So findet sich beispielsweise in demselben Steinbruch rechter Hand ein Gestein, dessen Einschlußnatur sich aus dem geologischen Befund eindeutig ergibt; trotzdem ist es von vornherein  $\pm$  richtungslos: zwischen und in korrodiertem und durchlöchertem Amphibol (und wenig Bi) ein jüngerer granoblastischer FS; Erzbestreuung. Die Ho sehr fleckig und am Rande bläulich-hellgrün werdend. Im ganzen Tendenz zu Fleckendioriten<sup>1</sup>. — Wichtiger noch sind Einschlüsse mit *reliktischer Diabasstruktur* (Abb. 12): Eine mehr oder weniger richtungslos angeordnete kleinkörnige grüne Ho wird von sehr schmalen

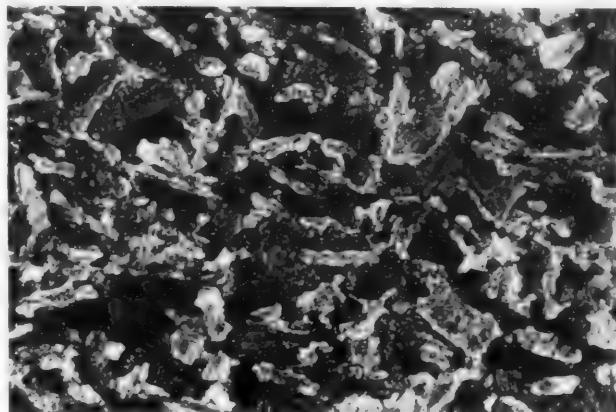


Abb. 12. Diabasstruktur. Einschluß im Diorit des Seidenbuch (Vergr. 20fach).

<sup>1</sup> Nachstehend sei noch der Übergang von einem Dr zu einem Einschluß beschrieben, der schon deutlich Resorptionserscheinungen zeigt (Kaffenbergs): Im Handstück erscheint der Dr durch grüne Ho nadelig (ähnlich den „Dr-Pegmatiten“ von CHELIUS). U. d. M. erweisen sich die fleckigen Ho allseitig zerfressen; Bi mit großen Epidotlinsen seltener (und chloritiert). Der leistige Plag (um 70 % An) zwängt sich zwischen die Mafite, drückt Leisten auseinander und isoliert die Ho-Ind. Auffällig viel Apatit, sowie Eisenerz mit Limonithöfen. Außer diesen größeren Körnern finden sich noch Erzmikrolithen massenweise in der Ho „sagenartig“ eingelagert. Die Verteilung ist fleckig, im Bi fehlen solche Bestreuungsfelder ganz. Von diesem Dr gibt es gegen den Einschluß keine scharfe Grenze: der leistige Plag wird noch spießiger und dabei kleinerkörnig und saurer (über 60 zu 45%) bis er schließlich einer Streckung folgt. Als Mafit die gleichen Ho wie im Dr: grün-gelb-farblos-fleckig, nur sind die Fetzen entsprechend der Einschlußkorngröße kleiner. Entsprechend der neuen Größenordnung auch kleinere Erzmikrolithenbestreuung. Apatit fehlt.

und langen Plag-Leisten (um 45% An) durchspickt. Die Nadeln haben einen korrodierten Kern, der allseitige jüngere Zuwachs kann die leistige Idiomorphie der Nadeln nicht mehr ganz behaupten. Vereinzelte Bi; Erzbestreuung, zum Teil zwischen Ho verklemmt. Das Gewebe erinnert durchaus an Diabase vom Hintersten Kahlenberg und vom Dachsberg bei Darmstadt. Entsprechende Strukturen lassen sich auch in Schiefern des Knodener Kopfes trotz einer hornfelsartigen Überarbeitung noch deutlich wiedererkennen.

## II. Aus dem Kartierungsgebiet: Bensheimer Diorit-Schieferzug (Aspenforst, Hohberg, Knodener Kopf).

### a) Typenübersicht.

Ehe wir bei den Gesteinen des Bensheimer Diorit-Schieferzuges den Varianten der einzelnen Lokalitäten nachgehen, wird es zweckmäßig sein, wiederkehrende Grundtypen herauszustellen.

Abgesehen von den üblichen mehr oder weniger flasrigen Dioriten, wie sie sich in den Diorit-Hauptzügen finden, treten im Zuge Hohberg, Knodener Kopf mit Aspenforst und „im Forst“ folgende Grundtypen auf:

- a) Schieferige und dioritische Gesteine mit „eingesprengten“ großen Plag,
- b) Fleckendiorite,
- c) Streifige Diorite.

Die gleichen mit Führung von KF:

- a) bis c) Ohne reinlich durchführbare Typentrennung. —

Zu a): *Schieferige und dioritische Gesteine mit großen Plagioklasen.* Das mikroskopische Bild wiederholt die megaskopische Textur. Es wechseln Anreicherungen von gröberkörnigen Plag (Durchmesser 3,5 mm) mit einem feinerkörnigen Gewebe von mehr amphibolitischem bzw. Bi-Plag-schieferigem Charakter, bei dem die Plag etwa 0,5 mm Durchmesser haben. Die Großplagioklase, teilweise stark zonare Andesine, nähern sich dort einer idiomorphen Ausbildung, wo sie unter Beiseitedrägen von Mafiten Platz greifen; sie werden hingegen xenomorph, wo sie an ein gleichwertiges FS-Korn stoßen. Hier erscheinen dann die Mafitpartikeln zwischen den FS-Oberflächen verklemmt. In den kleinerkörnigen Partien gibt der Mafit das Gerüst, in das sich Plag einfügt. Freilich auch hier Korrosion zugunsten der hellen Gemengteile. Der Mafit ist überwiegend Bi, doch finden sich größere Partien stark pleochroitisch grünbrauner Ho, die in gewissen Stellen bläuliche Töne zeigt. Erzausscheidung und Titanit in den Ho reichlich. Besonders an den Amphibolen zeigt sich, daß die Korrosion durch amöbisierenden FS in einem partiell-flüssigen Zustand erfolgt sein muß, denn die (vom aggressiven FS) aus der Ho isolierten Partien geraten ins Schwimmen und ändern ihre Richtung in bezug auf das ehemalige Gesamtindividuum (Abb. 15). Solches wäre bei einer Reaktion zwischen festen Phasen unerklärlich. — Der An-Gehalt (Fedorowmessungen) der zum Teil stark zonaren großen Plag ist im Kern 45%, in der Hülle 32%, bei einheitlicheren, kernfreien Individuen haben wir um 35%. Nun messen wir bei den — im Ganzen weniger zonaren — Plag der kleinerkörnigen Partien ebenfalls, und zwar ziemlich gleichmäßig 32%. Da bereits in den basischen Kernen der Großplagioklase korrodierte Bi-Fetzen eingeschlossen sind, mithin also bereits in jener Phase das Mafitgerüst angegriffen wurde, dürfte im Hinblick auf das Endstadium bei

32% der gesamte Plag rekristallisiert vorliegen. Da das Plag-Grobgewebe durchaus mit dem der ektekischen Schlieren von Schönberg zusammengingeht, wäre



Abb. 13. Dioritisierter Schiefer mit Plagioklasmegablasten ( $7/10$ ). Knodener Kopf.

daran zu denken, daß eine Mobilisierung zunächst partiell ansetzt und die gröberkörnigen halbdioritischen Partien schafft, dann aber auch im noch er-

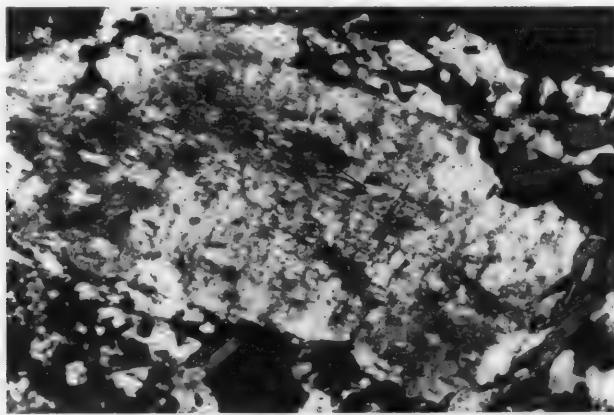


Abb. 14. Plagioklasmegablast (4 mm lang), aus Handstück Abb. 13.

haltenen paralleltextierten Restgewebe die Plag-Substanz erfaßt und diese nun im gemeinsamen Endstadium auskristallisiert. Durch einen solchen Nacheinander-Mechanismus bliebe trotz Umkristallisation das Parallelgefüge weitgehend (abgebildet) erhalten. — Quarz reichlich im kleinerkörnigen Gefüge

und Kanäle bildend zwischen den größeren Plag und in diese zum Teil mikropegmatitisch einwandernd<sup>1</sup>.

*Zu b): Fleckendiorite.* Das Mafitgerüst ist völlig eingestürzt und die Partikeln zu Häufchen „zusammengeschwemmt“. Ich kann mich dabei auf die von ERDMANNSDÖRFFER [22] gemachten Ausführungen beziehen, wo er (S. 73) derartige granoblastische Häufchen als durch Auflösung leichter schmelzender heller Gemengteile entstanden beschreibt<sup>2</sup>. Dort finden sich auch Angaben über die Modalbestände der hierher gehörigen Gesteine (Aspenforst, Schillerberg). — Während die Flecken fast ausschließlich aus Ho bestehen, ist der nicht zusammengeballte Restanteil überwiegend Bi. Die von ERDMANNSDÖRFFER angeführten Bi-Kränze um die Ho-Aggregate sind aber nur gelegentlich deutlich. Auffälliger sind größere Ho, die öfter den Rand eines sonst feinkörnigen Ho-Häufchens ausmachen, sich aber auch abseits der Häufchen finden; zum Teil sind sie wohl Ind, die der korrosiven Zerstückelung und Zusammenballung entgingen, im Hinblick auf hierher konvergierende Typen aber scheint mir auch bei manchen ein Neuwachstum in relativ später Phase vorzuliegen (Plag-Amöben! vgl. S. 449 oben). Aus dem Gesagten geht auch hervor, daß die von ERDMANNSDÖRFFER in diesen Zusammenhängen genannten Plag-Megablasten der Fleckenbildung vorangehen und die Gerüstzerstörung einleiten. —

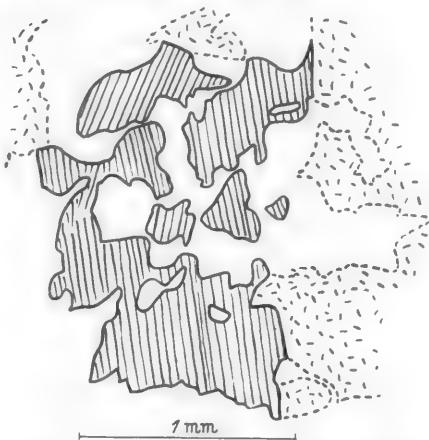


Abb. 15. Durch Plagioklaskorrasion (Plagioklas ohne Signatur) werden die Hornblenden zerstört und die Bruchstücke verschoben (starke Schraffur: ehemals einheitliches Individuum).

Obwohl im mikroskopischen Bild eine Regellosigkeit der hellen Gemengteile überwiegt, zumal dann, wenn zwischen den Ho-Häufchen nur noch Spuren von Mafit auftreten, zeigen doch manche dieser Gesteine eine ausgesprochene flächige Paralleltextur: sie wird dadurch erreicht, daß die Ho-Aggregate, die flache Linsen darstellen, als Ganze untereinander parallel stehen. Damit kommen wir zu den Gesteinen, die — mit den eben besprochenen durch Übergänge verbunden — in ihrer Textur auf Bewegungsvorgänge hinweisen.

*Zu c): Streifige Diorite.* Sie stehen im gleichen Gebiete an und werden ebenfalls von ERDMANNSDÖRFFER [22] (S. 56) beschrieben. Das im Handstück auffällig gestreckte Gefüge ist im Schliff durch die Zöpfe der Bi (Ho nur untergeordnet) kenntlich. Der Plag (Andesin) sinkt dabei im An-Gehalt bis auf 33%, vereinzelter basische Kerne (bis 80% An) erwähnt schon ERDMANNSDÖRFFER und führt für derartige Gesteine auch Modalbestände an (s. dort). Die Struktur ist fast pflasterartig. —

<sup>1</sup> Auffälligerweise zeigen Schlieren im ms rings um den homophanen Quarz-Gabbro vom Märkerwald entsprechendes!

<sup>2</sup> Vgl. auch S. 55—56. Es scheinen mir aber nicht alle Ho-Flecken erst im Dioritisierungstadium „zusammengeschwemmt“, sondern zum Teil auch aus einer metamorphen Altstruktur übernommen.

Diese Gruppe ist nicht einheitlich. Während östlich des Knodener Kopfes Mittelglieder zu den Fleckendioriten auftreten, das sind also solche, die im Handstück streifig aussehen, im Schliff aber eine gewisse Häufung von Mafit -- hier auch Bi-Häufchen — zeigen, fehlt bei den Gesteinen am Aspenforst ein solches Gefüge: der Bi (Ho wieder nur untergeordnet) ist auf einzelne Zöpfe beschränkt. Bei Bewegungsvorgängen während der partiellen Lösung der hellen Gemengteile scheinen statt der Fleckenbildungen gleichmäßiger „Durcharbeitungen“ zu erfolgen<sup>1</sup>.

Zu a) bis c): Mit KF-Führung. Die Tatsache, daß bei Anwesenheit von KF die Ho zugunsten von Bi abnimmt, ist schon oft angeführt worden und wird auch hier beobachtet. Andrerseits finden sich auch reine Ho-Gesteine mit KF-Grundmasse - Individuen. Beide Fälle müssen vorläufig ungedeutet nebeneinander beschrieben werden, wenn auch die von MEHNERT (Anm. 2, S. 448) gedeutete Reaktionsgleichung  $\text{Bi} + \text{Plag} + \text{Qu} \rightleftharpoons \text{Ho} + \text{Or} + (\text{Titaniit}) + \text{Fe} (\text{Erz})$  Hinweise gibt. Der erste, häufigere Fall schließt an die Ausbildung von

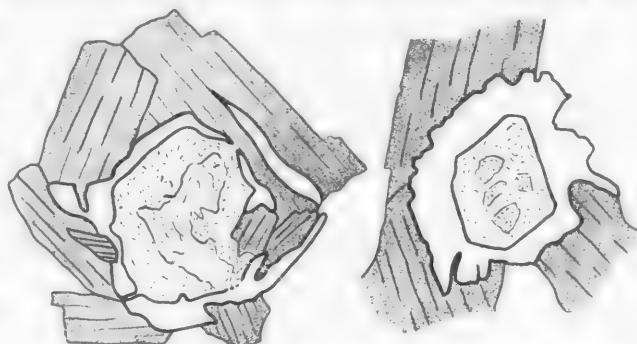


Abb. 16. Epidotzöpfe und -kränze ( $\varnothing 0,5$  mm, ohne Signatur) in Blotit mit getrübten Kernpartien. Hohberg „Gms“.

Gesteinen mit Groß-Plagioklasen an. Wie dort treten lagenweise größere Plag in kleinerkörnigem Gewebe auf. Hier wie dort haben ein Teil der großen Plag basische Kerne (über 50 % An) und die Hüllen eine gleiche Basizität wie die Plag des Kleingewebes (um 31 %). Aber als Mafit überwiegt gänzlich der Bi, der reichlich Epidotlinsen und -rinden hat. Diese merkwürdige Überkrustung zeigt die Abb. 16. Das fazielle Gleichgewicht scheint sich von Ho + Plag zu Bi + Epidot zu verschieben. — Der Plag hat Bi als Einschluß. Überhaupt sieht das ganze Mafitgerüst mehr zusammengeschoben und verklemmt aus, so daß der Plag auch in den kleinerkörnigen Partien gefügebestimmend wird. Der Qu-Gehalt ist wiederum beträchtlich. Der hier nun auftretende KF, der sich von Filmen aus verbreitert und xenoblastisch einschaltet, hält sich überwiegend an die Nähe der Großplagioklase und durchsetzt diese zum Teil regellos, zum Teil antiperthitartig. Die fleckige Auslöschung der Plag, die im Handstück wie ausgelängt in der Streckrichtung liegen, und eine fleckenartige Verteilung der Albitlamellen innerhalb der Ind deuten auf Bewegungsvorgänge hin, die dann auch mit der

<sup>1</sup> ERDMANNSDÖRFFER nennt in der Dioritarbeit [22] diese Dr durchweg „flaserig“. Ich möchte aber diesen Ausdruck auf solche beschränken, bei denen die Paralleltextur als ursprüngliche, gegebenenfalls auf ein Schiefer-s zurückzuführende, erhalten ist, und nicht noch einmal wie hier in einer späten Phase überprägt erscheint. Diese (relativ) „späte Phase“ wäre die varistische Orogenese: Während die Schiefer, und ihnenakkordant ein Großteil der gewöhnlichen hier anstehenden „Diorite“ fast östlich zieht, schwenkt im Bereich der hier besprochenen Gesteine die Streichrichtung in die varistische, der dann auch die syntektonischen porphyrtartigen Granite nachkommen.

Mobilisierung des Kalis zusammenhängen dürften. — Bei größerem Gehalt von KF-Substanz gehen dann die Ind zu einer Porphyroblastenbildung über, die bei einzelnen Lokalitäten noch zu erwähnen ist.

Über den weniger häufigen Fall, also von KF zwischen Ho, soll ein Beispiel vom westlichen Hohberggipfel orientieren. Das flasrig dioritische Gestein führt als Mafit fast ausschließlich grüne Ho. In das Grundgewebe teilen sich Plag von etwa 36% An, reichlicher Quarz und KF mit Myrmekitwarzen. Die Ho liegen in ziemlich wirrer Verteilung, etwas zusammengeschoben in der Grundmasse<sup>1</sup>. — Während in allen bisher betrachteten Fällen KF als am leichtesten wandernd auftrat, gibt es aber auch Fälle, wo ein im Gz eingeschlossener Schiefer-

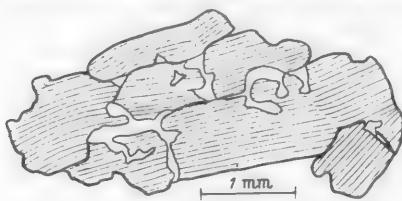


Abb. 17. Verdrückter Plagioklas durch Kalifeldspatfilme (ohne Signatur) verheilt. Hohberg.

brocken mit (schon makroskopisch sichtbaren) Infiltrationskanälen von Quarz keinen KF zugeführt bekommt. So z. B. im Bachtal des Klingenkopfes, wo der Einschluß ein an sich Qu-armen Ho-führender Bi-Plag-Schiefer ist (Plag 30—32% An, ein großes Ind 26%). — Wie die allenthalben auftretenden Qu-Ho-Trümer zu deuten sind, ist ja schon gesagt worden.

### b) Der Gesteinsverband vom:

#### a) Aspenforst.

Daß die prinzipielle Möglichkeit der Mischgesteinbildung aus Granit und Schiefer besteht, beweisen hinlänglich die Aufschlüsse östlich Knoden „am Berge“, wo der Flasergranit reichlich Schiefer aufnimmt. Es entstehen dort aber sofort granitische Typen (Abb. 18), wenn auch mit ungewöhnlich hohem Mafitgehalt<sup>2</sup>. Hier jedoch zeigen sich, wie die Abb. 19 wiedergibt, Mischgesteine, die durchaus eine Mittelstellung einnehmen und, falls man den Verband nicht erkennen könnte, als „Diorit“ angesehen würden. Es scheint also so, als ob unter je eigenen Bedingungen der Schiefer, trotzdem er modal eine gewisse Einförmigkeit zeigt, einmal völlig resorbiert (granitisiert) neben solchem ansteht, der ± unbeeinflußt ist, ein andermal aber bei untergeordneter Resorption weitgehender Beeinflussung (Dioritisierung) unterliegt. — Die letzte Bedingung gibt also Anlaß zu dioritischen Zwischengliedern, die bei der ersten völlig fehlen. Soweit die Mittel-Gesteine durch ihren Einflußrahmen übersehbar sind, bleibt die Zuordnung leicht. Dieser Fall bildet aber die Ausnahme, meist liegt ein im Ganzen völlig dioritisches (dioritisirtes) Gestein vor. Nur die granitische Durchtrümerung und der Verband lassen beim Begehen des Geländes aufmerken und geben Anlaß, ein etwas gestreckteres Gestein von den übrigen gesondert

<sup>1</sup> Ein entsprechendes Gestein am Westhang des Hahn: hier verbreitern sich Qu und KF zwischen Ho und serizitisiertem Andesin (um 35% An). — Es sei hier auch noch einmal an den Syenit-Diorit von Schönberg erinnert: getrübter größerer Plag (35—44% An) nur teilweise idiomorph gegen grüne Ho-Leisten; an Stelle von Qu, der fast ganz fehlt, als Letztausscheidung KF, in dem dann Ho und Plag „schwimmen“.

<sup>2</sup> Die Auflösung von Schieferfetzen, die sich in die Flaserung hinein verlieren, biotitisiert auch Ho-führende Einschlüsse bei gleichzeitiger (?) Serizitierung der Plag-Porphyroblasten, so daß schließlich im resultierenden Gms nur Bi als Mafit auftritt.

auszuscheiden. Wir befinden uns an der schon erwähnten „diffizilen Naht“, im Niemandsland zwischen Granit hie, Diorit da, Schiefer inmitten. Der Wechsel Schiefer-Diorit wiederholt sich quer zum Streichen dauernd; wo das Gestein

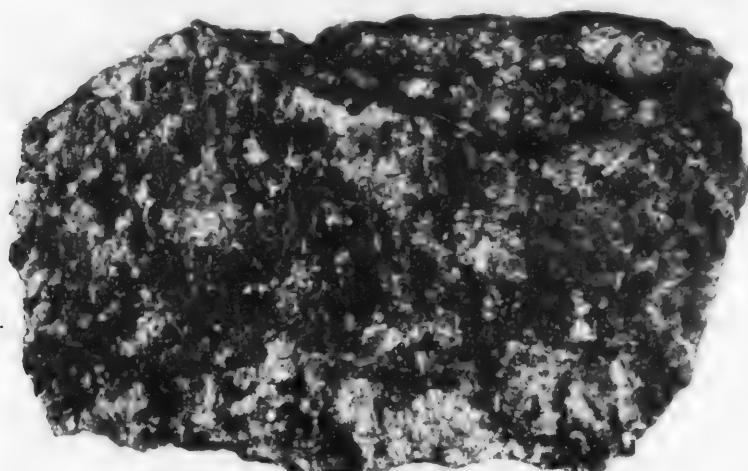


Abb. 18. Mischgestein G + ms: granitisert (Knoden „am Berge“) ( $1/2$ ).

verwittert, verwischen sich die Grenzen. Die bankige Verwitterung zu saigeren Fladen im Diorit (akkordant den mehr plattigen Absonderungen des Schiefers —

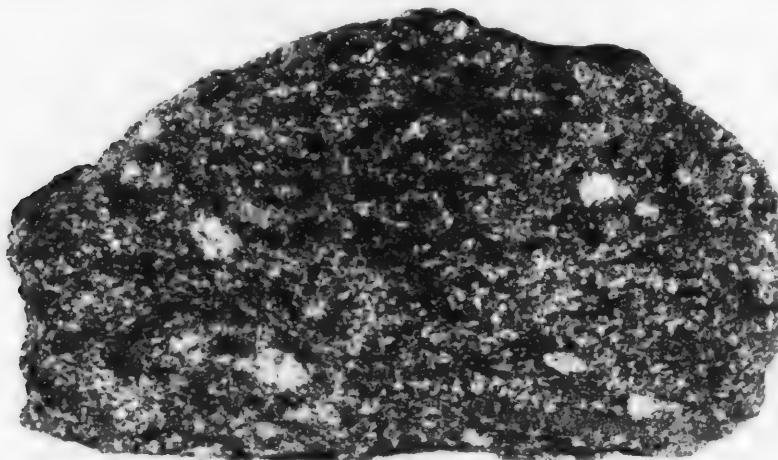


Abb. 19. Mischgestein G + ms: dioritisiert (Aspenforst) ( $1/2$ ).

gegenseitig durch Übergänge verbunden —) beruht auf der verschiedenen Angrifbarkeit der hellen und dunklen Lagen, die, qualitativ modal oft kaum verschieden, doch bedeutend in der Korngröße schwanken. Der Terminus „Einschluß ms in Dr“ für mehr schieferige Varianten hat nur relativen Sinn:

er beschreibt die durch die Schichtungsinhomogenität erreichte verschiedene Intensität der Mobilisierung. — Auf der Karte wurden zwei in sich geschlossenere Partien von dioritisierter Schiefer abgetrennt. Sie gehören zu Typ b: die linsenartigen Ho-Flecken beschreiben eine PT. Die größere dieser Partien streicht ONO bis O, folgt also dem Streichen der Schiefer; die kleinere hingegen zieht bereits

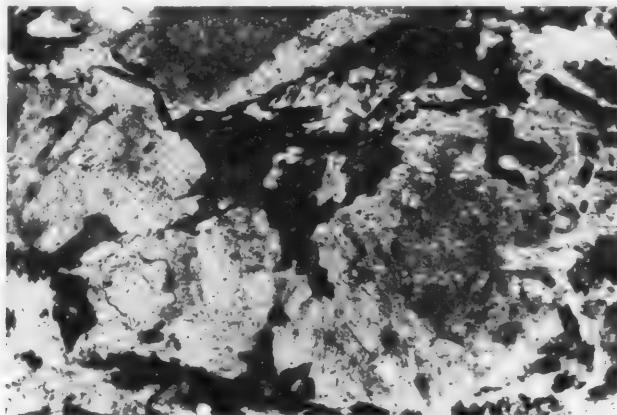


Abb. 20. Plagioklasmegablasten aus Handstück Abb. 19 (Vergr. etwa 20fach).

varistisch<sup>1</sup>. Das scheint nicht zufällig zu sein: wo im engen Wechsel dioritische, schiefelige und granitische Gesteine vorkommen, bequemt sich auch der Granit gelegentlich zum OW-Streichen; so ergibt sich beispielsweise folgendes Bild:

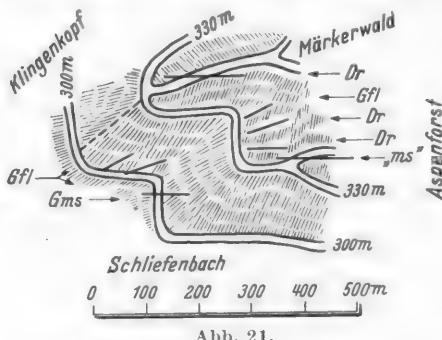


Abb. 21.

von Süden nach Norden (vgl. das Kärtchen:  
Abb. 21)

Gn-Klippen	(mit Einschlüssen G fl → G ms) ziehen O
	Fleckengestein „ms“: PT (ehemaliges Schiefer-b) zieht O
Dr-Klippen: Bankung (Schichtung) saiger	O
Dr-Klippen 20 m daneben	ONO
G anstehend, Flaserung zieht	N 50 O
d. h. also, daß der Granit ein OW-Streichen vorfindet, es entweder in der vorgefundene Richtung durchsetzt oder aber	

langsam in die varistische Richtung dreht. Dabei kommt es oft zur Kompromißrichtung N 70 O, die ja weiter östlich zu einer allgemeinen Richtung wird, in dem Maße, als die vorliegenden Gesteine zu homophaner Ausbildung streben.

### β) Hohberg.

Durch einen Sattel ist der Hohberg in einen Ost- und Westgipfel getrennt. Den Westgipfel nehmen OW streichende Schieferklippen ein, die dem Zeller Diorit sehr ähnlich werden können.

<sup>1</sup> Ein Einschluß in diesem Gestein (Schliefenbach) zeigt Verdichtung am Kontakt: Der Ho-Bi-Schiefer hat gegen den Bi-Ho-Diorit eine 3 mm breite Zone, in der der Bi-Gehalt bei gleichbleibendem Ho-Gehalt zunimmt. Letztere sind gegen den großfeldspätigen Dr wie ausgelaugt durchlöchert und von mehr bläulicher Nuance. Das gleiche gilt für die gänzlich im Dr eingelagerte Ho.

Der Schliff zeigt ein granoblastisches Gefüge von Plag und Qu zwischen grünblau-bläffgelber Ho und Bi, die fetzenartig eine PT beschreiben; zwischen ihnen auch die üblichen Akzessorien. Plag zonar, Schwerpunkt des An-Gehaltes 36—33%, mit Mafitamöben.

$$\text{Plag: Qu:Bi:Ho} = 46:24:14:16.$$

Sie stecken in Ho- und Bi-Diorit verschieden homophanen Charakters (Flanken des Berges). In die Nordseite teilen sich:

1. Ein gelegentlich stark gestrecktes dioritisches Gestein mit überwiegend Bi, das sich bis östlich Reichenbach (Hinkelstein) hinzieht und auch nördlich Elmshausen noch einmal erscheint<sup>1</sup>.

Es hat stark zonare, im Kern getrübte, große, gegen Bi und die untergeordnete Ho xenomorphe Plag (sonst aber prismatische bis isometrische Ind mit fleckiger Zwillingslamellenverteilung, die an Druckverzwilligung gemahnt und mit einer vom Zonarbau unabhängigen undulösen Auslöschung zusammengeht). Das aus Fetzen und Bruchstücken von Mafit zusammengesetzte Zwischengefüge hat klare kleine Plag und Qu. Letztere auch in Aggregaten und in die großen Plag eindringend. Für das mafitreiche Zwischengefüge ist Apatitbestreuung charakteristisch. — Die Abb. 22 gibt einen Eindruck von der Art vorkommender Zwillingsstücke der Plag. Diese Stöcke, die an den Grenzen der Einzelindividuen auch etwas KF enthalten, haben einen durchschnittlichen An-Gehalt von 38%, gehen aber im Inneren bis zu 50%.

2. Der mehr im Westen anstehende Diorit von sehr ungleichmäßiger Ausbildung bei überwiegender Ho-Führung.

Grün-braun stark pleochroitische fleckige Ho, zwischen der FS (35—29% An) aggressiv geworden ist. Die Ho, mit PT-Andeutung, hat Titanit und Erzeinlagerungen, sowie Bi-Strähnen, die sämtlich von Epidotspindeln gefüllt sind. Oft tritt der Bi gegen diese Spindeln an Volum zurück. Der Bi ist seinerseits zum Teil chloritiert, Quarz in Linsenzügen gesammelt.

Dieser Diorit hat G<sub>2</sub>-Durchtrümerung (der G<sub>2</sub> aplitisch: gestreckte, verzahnte Ind von Qu, undulösem leicht gegittertem Mi und in der Gesamtheit trübem Oligoklas mit Myrm-Warzen gegen KF. Qu:Mi:Plag etwa 3:3:1. Fetzen von Bi) und geht in die Elmshausen-Zeller Ausbildung über.

Im weiteren verfolgen wir hauptsächlich den zuerst genannten Dr der mehr östlichen Verbreitung, der auch durch seine Einschlüsse und Nester interessant ist.

Das eine Nest von Ho-Gabbrodiorit ist ziemlich hoch am (Nord)Hang und nur in Blöcken erschlossen.

In den meisten Stücken ist die ursprüngliche Struktur verwischt. Eine grüne bis bläuliche Ho in großen zerlöcherten Ind beherrscht das Bild. Dazwischen breitet sich ein kleinkörniges, verzahntes FS-Gebäck aus. — Einige Stellen aber haben eine hornblendegabbroide bis gabbroide Struktur erhalten: Idiomorphe, gegitterte kernfreie Plag-Leisten (55—60% An) sind von brauner großer Ho poikilitisch umwachsen. Erz in größeren Partikeln gleich der

<sup>1</sup> Wobei hier bei ausschließlicher Bi-Führung KF auftritt, der auch die Großfeldspate (a-Typ) durchsetzt. Pegmatitadern durchziehen das Ganze.

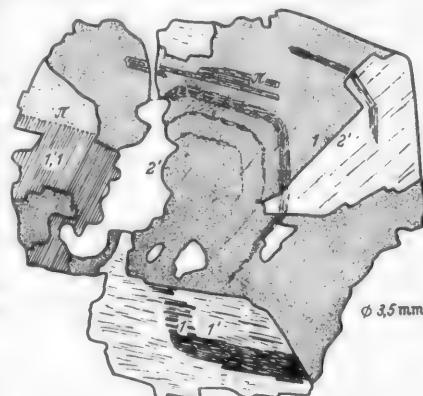
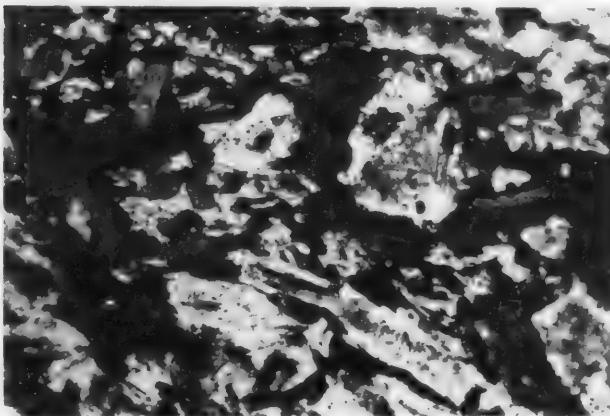


Abb. 22. Aus Diorit vom Hohberg: zonarer Andesin schräg zu (010) des Hauptindividuums geschnitten. Die konzentrischen Zonen beschreiben den Umriß der (010). — Zwillingsgesetze: Albit (1,1') 2mal; Albit-Karlsbad-Komplex (1,2') 1mal; Periklin (1,1") 2mal.

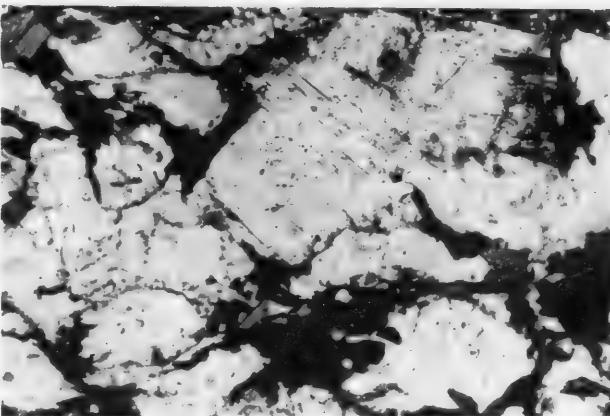
Ho in Zwickeln zwischen dem Labrador. Der Plag aber ist seinerseits gegen Reste und Pseudomorphosen von Augit xenomorph. Die Ausscheidungsfolge wäre demnach: Pyroxen, Plag, braune Ho, grüne Ho.

Ein anderes Nest wird durch einen Steinbruch abgebaut.

Grün-braun streifige Ho, Ind zum Teil poikilitisch, mit hellen Flecken, hat chloritierte Bi-Nadeln und serizitierte Plag (Bytownit um 80 %) eingeschlossen. Mit abnehmender Basizität des Plag wird dieser gegen die Ho xenomorph, um schließlich mit einem Pflaster von 42 bis 48 % An-hältigen Plag abzuschließen. Dieser Andesin korrodiert den Amphibol und hat Ho-Einschlüsse. (Gewisse Fleckendiorite von der Lauteruff zeigen ganz entsprechende Strukturen und poikilitische Ho.)



a



b

Abb. 23 a u. b. „Dioritisierung“ durch Auflockerung des Biotit-Hornblendegerüsts. Hahnenbusch bei Reichenbach  
(Vergr. etwa 30mal).

ferige Gesteine. Die Fotografien (Abb. 23) zeigen 2 Stadien der Gefügelockerung, die auf eine Dioritisierung hinzielt. Dazu der Vergleich der Modalbestände:

	Plag	Qu	Bi	Ho	Akz
kleinerkörniges Gefüge	42,5	8	26	21	2,5
gelockertes Gefüge	45	25	18	10	2

Dann aber stammen vom Nordhang jene KF-führenden Gesteine, die bei der Typenbeschreibung schon gewürdigt wurden. Auch der zernickte Plag-Stock der Abb. 17, der in den Bruchstellen KF-Substanz zeigt, stammt vom

Basitatem des Plag wird dieser gegen die Ho xenomorph, um schließlich mit einem Pflaster von 42 bis 48 % An-hältigen Plag abzuschließen. Dieser Andesin korrodiert den Amphibol und hat Ho-Einschlüsse. (Gewisse Fleckendiorite von der Lauteruff zeigen ganz entsprechende Strukturen und poikilitische Ho.)

Eine weitere Scholle ist zur Zeit im Hahnenbusch anstehend. Es handelt sich um einen Ho-Qu-Diorit mit Neigung zu Fleckenbildung, zonarem Plag (Kerne korrodiert; 50–30 % An). Hier hat das einschließende Gestein, also der Bi-reiche Diorit vom Typ a seiner Flaserung akkordant „Schichten“ von schieferiger Textur. Diese Schichten sind quadratmetergroß bei einer Dicke von etwa 5 em und müssen als integrierende, freilich reliktische Bestandteile des Gesteins gelten. Im tieferliegenden Bruch überwiegen dann schie-

Nordhange (Plag des Gesteins: 30, 34, 36% An). — Beispielhaft für das Auftreten des KF ist auch folgendes:

Eine  $50 \times 50$  cm große Wolke von eingesprengtem KF in sonst flasrigem dioritischem feinkörnigen Gefüge, wobei keine Abhängigkeit von einem zuführenden Trum zu erkennen ist. Im Inneren der Schliere erreichen die KF 1—2 cm Durchmesser, nach außen zu klingt die Größe ab bis 0,5 cm. — Zugeführt scheinen Qu und KF zu sein. Aber auch ein Teil der Plag (28% An) mag sich an der Reaktion beteiligt haben:

1. *Plag*, die Flaserung durchsetzend, gefüllt mit *Bi* (ziemlich regellos),
2. *Plag sauber*, im Verband von KF-Xenoblasten-Aggregaten. Hier mit intergranular-symplektitischem Qu; Kleinindividuen von 0,02 mm bei einer durchschnittlichen Plag-Größe von 2 mm.
3. *KF*, xenoblastisch mit Myrm-Warzen gegen randlichen Plag,
4. *KF gefüllt mit eingeregeltem Plag ohne Myrm*,
5. *Qu sauber; ± selbständige Aggregate*.

Abb. 24 gibt von den Stufen 3 und 4 ein Bild.

Während hier der KF in die Flaserung einbezogen ist, finden sich auch Individuen, wo der KF von der Schieferung durchsetzt wird. Ein Beispiel sei aus dem flasrigen Granit  $\pi$  oberhalb des Dahns angeführt: hier ist der Granit reich an Schiefer-schollen und zieht mit diesen gemeinsam N 70 O. Dort, wo die Schiefer übermäßig werden, verkleinert sich das Korn und die KF-Einsprenglinge verlieren sich (s. S. 443/444: Diskussion  $G_2$  zu  $G_1$ ).

Im Vorstehenden wurde vom Westgipfel ausgehend die Nordseite beschrieben. Auf dem Sattel selbst nehmen nach Osten zu die Schiefer ab und dioritische Gesteine zu. An den Klippen lassen sich Übergänge von feinkörnigem ms gut beobachten: quarzreiche Durchaderungen (auffälligerweise ohne KF!; als Mafit Bi; Plag — serizitiert — um 20% An) in den Schiefern vermitteln zu dioritartigeren Gesteinen, die dann noch weiter östlich an die Granite stoßen. Die dioritischen Gesteine ( $Bi:Ho = 2:1$ ) haben größere stark zonare Plag mit 35—40% An und Ho-Amöben, KF nur sporadisch<sup>1</sup>. Der porphyrtartige Granit des Ostgipfels selbst, der hangwärts feinkörnig wird bis zu  $G_2$ -artiger Ausbildung, gibt dem Südhang durch seine Verzahnung mit mannigfachem Diorit einen sehr komplexen Aufbau. Es wechseln homophane Diorite mit flasrigen und letztere wiederum mit Schiefern. Kennzeichnend Typen a mit und ohne KF wie auf der Nordseite. KF-führende Gesteine finden sich nach Süden bis zum Hummelscheidtal.

Das Hummelscheid-Gestein (Plag 43—33% An; Schwerpunkt bei 40%) hat trotz seiner KF-Führung Ho, keinen Bi. Daß hier jene von Ho-Amöben gefüllten großen Plag auftreten, mag als ein Hinweis aufgefaßt werden, daß auch hier das ursprüngliche Gestein kein „Diorit“ war. Man gewinnt besonders bei Gesteinen, die zwischen gestreckten Partien eingeschaltete Grobstrukturen haben, den Eindruck, daß hier strichweise Entregelungen und

<sup>1</sup> Daß ein KF-Reichtum der unmittelbaren Umgebung nicht zur Neubildung von KF im Einschluß usw. führen muß, zeigt auch ein Einschluß aus einem Gr-Gang bei der Klausenmühle (Gronau), wo als Mafit sogar noch Ho, daneben (in der Gesamtheit serizitisierter) Plag und Quarz in Kanälen auftritt.

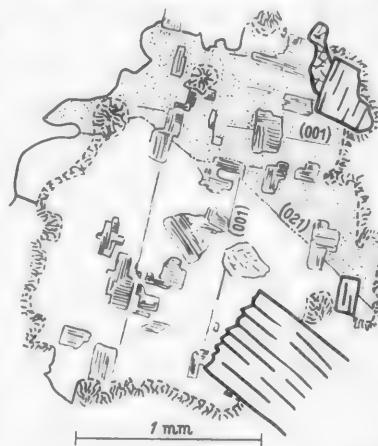


Abb. 24. Hohberg. Kalifeldspat Migmatoblast, Bavenoer Zwilling, mit Myrm.-Warzen gegen Außen-Plagioklas, ohne Myrm.-Warzen gegen Plagioklasseinschlüsse (32% An). Letztere mit ihrer (010) || (010) des Wirtes, aber auch || (001) und (021) des Kalifeldspates.

Umkristallisationen stattfanden. Zur Verdeutlichung der Verhältnisse sei der Übergang beschrieben, wie er sich im mikroskopischen Bilde zu erkennen gibt: Es wurde nämlich am Südhang des Hohberges einem kleinen Aufschluß ein Profil entnommen, das den Übergang von einer Schieferscholle in ein gneisartiges Gestein granodioritischer Zusammensetzung zeigt.

Der Ho-Bi-Schiefer, Qu-führend (mit Prehnitfüllungen in Klüften) hat als Plag einen Andesin (28—35 % An), der ± in die Schieferung eingelenkt ist. Etwas größere, gelegentlich auch basischere Großplagioklase aber stehen schräg oder quer zur Schieferung. Gegen das umschließende Gestein zu lockert sich das Gefüge auf: die augenartig aus dem s herausstretenden Großplagioklase zeigen reichlich, zum Teil antiperthitisch KF-Einlagerungen. Während außerhalb dieser Plag KF nur spärlich in Filmen auftritt, beteiligt sich Qu reichlich im Zwischengefuge. Dann verschwindet Ho zugunsten von Bi. Die Schieferung verschwimmt zur Flaserung: ein grobkörniges granoblastisches Gefüge, in dem abwechselnd Qu und FS überwiegen; der Bi bildet Kränze um die einzelnen Körner, in dieses netzartige Gewebe schalten sich kleine Epidotkristallchen. — Der Plag, der im Ganzen keine Neigung zu Zonarstruktur hat,

Abb. 25. Korrosion durch Plag.

ist zunächst von alten (idiomorphen) Oberflächen aus weitergewachsen und hat das Feld von Mafiten gesäubert (Abb. 25), dann aber schließt er in kernfreien Ind auch Mafit ein, teils verdrängt er diesen innerhalb der Strähnen. Trotz des KF, der sich weiterhin in

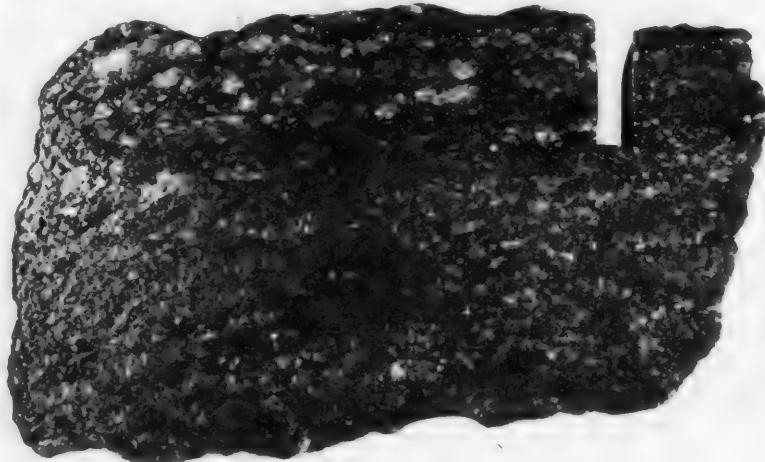
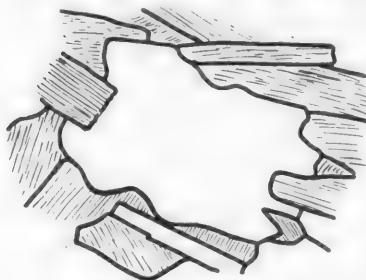


Abb. 26. „Hohberggranit“. Kalifeldspatführender mobilisierter Schiefer (%).  
Foto: W. Nickel.

antiperthitischen Zügen im Plag findet, ist dieser nicht viel saurer geworden (20—28 % An). Schließlich bildet der KF auch außerhalb der Plag xenoblastische Körner, während die Kornvergrößerung (der Plag) weitergeht. KF-Holoblasten schließen Plag ein. — Das umschließende Gestein zeigt Abb. 26.

#### *y) Knodener Kopf.*

Der Knodener Kopf liefert ausgezeichnete Beispiele für die Schiefer-Diorit-Problematik. Wie aus der Karte ersichtlich, durchsetzt hier der porphyrtartige Granit akkordant die Schiefer. Letztere sind in sich ziemlich uneinheitlich

und zum großen Teile dioritähnlich umgeprägt. Außer diesen finden sich grobkörnige „echte“ Diorite mit Ho-Leisten bis zur „dioritpegmatitischen“ Ausbildung. Die Variationsbreite von granoblastischen Amphiboliten bis zu extrem ausgebildeten Dioriten (und hornblendegabbroiden Einschaltungen) ist schon für das unbewaffnete Auge beachtlich. Trotzdem gibt es zwischen diesen Gesteinen keine scharfen Grenzen, wie nachfolgende Beispiele zeigen sollen.

*Dioritischer Phänotyp.* Zunächst ein Profil von etwa 100 cm<sup>2</sup> aus dem Südhang des Knodener Kopfes. Die Abb. 27 zeigt deutliche Grenzen zwischen dem Amphibolit und dem sich dazwischenzwängenden Diorit, eine Erscheinung, die sonst selten ist (Fixierung eines Übergangsstadiums). Der Amphibolit ist ein kleinkörniges Gestein mit Pflasterstruktur, Qu-arm und reich an Erzpartikeln; Plag 35—42% An. Er ist von einer Schlieren heller Gemengezteile umschlossen, die aus dem dioritischen Material stammen und sich zwischen den Schieferlagen Raum verschaffen. Es verschlieren sich gleichmäßige Stellen mit solchen mehr dioritpegmatitischer Ausbildung. Letztere haben große Leisten und Querschnitte einer braufleckigen Ho mit kleinen Bi-Schmitzen. Die Ho, gefüllt mit orientierten Erzpartikeln, umschließt einen getrübten idiomorphen basischen Plag. Gegen den Saum nimmt die Ho eine grünere Nuance an: hier fehlen die Erzmikrolithe, dafür finden sich nun größere Erzindividuen regellos verstreut. Außerhalb der Ho breitet sich ein korrodierendes Gefüge von Plag und Qu aus. Der Plag (in einigen Exemplaren noch mit basischen Kernen — bis 92% An) wird mit wachsender Xenomorphie gegen die Ho saurer und strebt gleichmäßig einer Basizität von etwa 28% An zu. Er ist zum Teil zerbrochen und von jüngerem Qu ausgeheilt, wobei letzterer auch in Löcher der Ho (gleichorientiert mit dem Qu-Außenindividuum) eindringt. Ein gleiches gilt für vereinzelte Plag-Amöben. — Wahrscheinliche Ausscheidungsfolge:

1. Älterer Plag; erzmikrolithische Ho mit Bi-Schmitzen (gabbroid),
2. Weitereausscheidung des Plag; koachsiales Weiterwachsen einer mehr grünen Ho, wobei der Erzanteil in größeren Partikeln „daneben“ auftritt,
3. jüngerer xenomorpher Plag, die Ho korrodierend und selbst von spätem Qu umschlossen. Leichte Chloritisierung.

Die weniger grobspießige Ausbildung des Diorites führt kaum noch Ho mit Mikrolitheinlagerungen, dafür die mehr grüne Abart (ebenfalls schon korrodiert und in felsischem Gefüge isoliert) zusammen mit den größeren Erzpartikeln. Das Erz, entsprechend der Ho-Rückbildung, zerstreut in den hellen Gemengteilen; besonders auffällig, wo die Erzwürmer in felsischen Korrosionsbahnen durch die Ho liegen: so als ob in bezug auf die Mikrolithe der mehr braunen Ho eine Sammelkristallisation stattgefunden hätte. Der Plag ist hier bis auf serizitierte und chloritierte Kerne ein Andesin (35—45%); ehemalig höherer Ca-Gehalt liegt als Kalzit vor. — In einzelnen Nestern wird die Ho durch bronzefarbenen blassen Glimmer vertreten. Apatite nur vereinzelt.

Soweit wäre die Unterscheidung Schiefer-Diorit eindeutig. Es lassen sich hier die am Westhang bis unterhalb des Höllberges (anscheinend nestartig) anstehenden Ho-Gabbros anschließen:

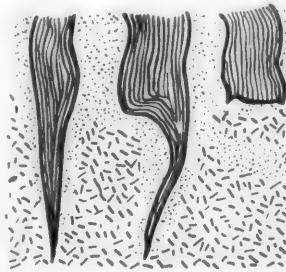


Abb. 27. Schieferfetzen in Diorit. Knodener Kopf.

Ho mit Bi-Fetzen xenomorph zu Plag (Byt. bis An). Die Ho fleckig: um braune Kerne mit Erzeinlagerungen und fast farblosen Höfen eine grüngelb-pleochroitische Ausbildung. Poikilitisch eingeschlossener Plag ist stärker zersetzt als zusammenhängende FS-Partien, in denen der An-Gehalt unter 50% sinkt.

Eine Probeentnahme des Dr an anderer Stelle (vom Gipfel;akkordant dem Schiefer und den Granitgängen) verwischt aber sofort das klare Bild. Hier zeigt das dioritische Gestein in den 2 etwa 40 cm voneinander entfernt abgenommenen Proben Strukturen, die durchaus zu den migmatischen Dioriten hinweisen; also Typ a und b:

Die eine Probe (im Handstück grobdioritisch) stellt einen Fleckendiorit dar, der jene grün-braune Ho ohne Erzmikrolithe und die Erzpartikeln daneben führt; wenig Bi (mit Epidot), größere Apatite, Titanit. Um die Mafithäufchen lamellierte Plag (34—45% An), grobkörnig, zum Teil verdrückt und von Qu durchlöchert.

Die benachbarte Stelle zeigt eine im Ganzen kleinerkörnige Struktur (Korngröße um 1 mm), sonst in bezug auf Ho und Bi der anderen Probe entsprechend, also auch mit den reichlichen Erznestern. Es fehlt hier aber die Tendenz zur Zusammenballung: im Gegensatz zur Nachbarprobe verzahnt sich hier der Mafit mit einem aus winzigen FS bestehenden Pflaster. Die 45% An-haltigen Plag sind nicht größer als 0,1 mm und haben im Inneren serizitierte Leisten<sup>1</sup>.

Hier anzuschließen sind dann jene sehr uneinheitlichen Gesteine des Knodener Kopfes, die im Handstück nicht entscheiden lassen, ob es sich um Diorit (mit assimiliertem Fremdgestein) oder Schiefer (mit dioritischen Schlüren) handelt. Sie deuten durch ihr FS-Gefüge auf ehemals ophitische Strukturen; bemerkenswert ist die Tatsache, daß auch offensichtlich jüngerer Plag, nämlich solcher ohne die Leisten im Kern, das kleinkörnige Pflaster weiterführt. Dies wie auch das Fehlen der Mafitzusammenballungen könnte darauf hinweisen, daß hier ein Gleichgewicht in fester Phase erstrebt wurde.

*Schieferiger Phänotyp.* Nachdem durch die letzten Beispiele der Ortho-Charakter solcher Gesteine doch wieder unsicher geworden ist, wird es nicht wunder nehmen, daß auch die schieferigen Typen Zwittergesteine sind. — Ich erwähne zuerst das Gestein der großen Klippen des Nordhanges (2. Weg von oben gerechnet):

Die ursprünglichen Züge sind durch spätere Umwandlungen verwischt, doch weist die Struktur auf gabrodioritischen Ursprung hin. In der vorliegenden Probe ist der Bi noch reliktisch vorhanden und die Ho pseudomorph durch Chlorit ersetzt, in ihm reichliche Ausscheidung von Titanit; Apatit in großen Individuen. Der Plag, um 50% An, mit scharfen serizitierten Kernen (Anorthit), in kleinerkörnigen kernfreien Partien bis auf 44% An absinkend, hat reichlich Calcit ausgeschieden. Letzterer ist nicht nur hier merklich, sondern tritt auch häufig außerhalb der FS in großen Individuen auf. Auffällig ist er in Verzahnungen, wo er Einschlüsse von Ho hat, die, außerhalb fehlend, gewissermaßen in ihm konserviert sind. Außer Ho auch Einschlüsse gelegentlich hexagonal umrissener Quarze; dieser sonst in Restecken.

Schon die benachbarten Klippen zeigen wieder — typisch für die Inhomogenität des Knodener Kopfes — flaserige dioritische Gesteine nach Art des Typus a mit reichlich Qu, hellen Adern und großen Plag (Andesine um 35% An). Der Plag im wesentlichen kernfrei, jedoch in den nachgewachsenen Individuen, die ihrerseits andere Plag einschließen, etwas saurer werdend. Die anstehenden

<sup>1</sup> Ähnliche Strukturen zeigen „Dr“ mit metamorphen Relikten vom Kanzelberg bei Leutershausen.

Schiefer am befestigten Wege, der vom Gipfel nach Süden absteigt, endlich haben in einem fast granoblastisch struierten FS-Grundgefüge (mit basischen Kernen) regellos verstreute Relikte von Ho und Bi, so daß dieses Gefüge in der Gesamtheit das wiedergibt, was sonst der einzelne mafitgefüllte Plag zeigt. Solche zum Teil stärker flaserige Abarten (mit gefülltem Plag und Plag-Eigenamöben; in den Plag prozentual mehr Ho als außerhalb) schließen wieder an die metamorphe Reihe an. So schalten sich, wie schon erwähnt, diabasreliktische Strukturen ein (vgl. Abb. 12). Es scheint so, als ob durch Mobilisationsvorgänge nicht nur eine ursprüngliche (metamorphe) Struktur verwischt, sondern sogar durch poikilitisches (Neu-)Wachstum von Ho<sup>1</sup> um Plag lokal Ähnlichkeit mit hornblendegabbroidem Gefüge erreicht werden kann. Es ist allerdings nicht ausgeschlossen, daß im Gebiete des Knodener Kopfes an der Aktivierung gabbroides Magma beteiligt war.

Ostlich des Knodener Kopfes und der Ernst-Ludwig-Höhe, also „im Forst“ und am Kilges-Rot liegen die Verhältnisse insofern „einfacher“, als hier gabbroide Anteile nicht auffallend sind und gestreckt homophandioritische Gesteine anstehen, wie sie bei den Typen unter „streifiger Diorit (c)“ bereits beschrieben wurden.

Die schon im Handstück streifigen Varianten zeigen u. d. M. in einem mittelkörnigen und keineswegs „typisch magmatischen“ FS-Grundgefüge (35—45% An mit serizitierten Kernen) zerlappte Bi-Fetzen mit Erz und durchlöcherte grünbraune Ho. Neben dieser einzelne Häufchen von grünblauer Ho aus sehr kleinen Individuen. Nach einem letzten sich noch ausscheidenden Plag, der in einheitlichen xenomorphen Individuen Mafitfetzen umschließt, kommt noch ein eckenfüllender Qu zur Kristallisation.

Von diesen streifigen Gesteinen gibt es Übergänge zu Schiefern, die in Klippen anstehen. Die Verbindungsglieder, die in wechselndem Maße durch Alternieren von schiefrigen und dioritischen Lagen auffallen, lassen sich in der üblichen Weise nicht klassifizieren. Die merkwürdige, beinahe an Kontakterscheinungen gemahnende Serizitisierung und die Art der Korrosionserscheinungen besonders in hellen Lagen weisen auf kompliziertere Einwirkungen hin, als sie durch den Begriff „Injektion“ gegeben wären. Langgestreckte, bis zentimeterlange Qu-Kanäle (als Mafit daneben ausschließlich Bi) und gelegentlich auftretende Mikrokline möchten auf Bewegungsvorgänge und einen Einfluß des sich hier allenthalben einschaltenden porphyrtartigen Granites hinweisen. So finden sich hier mehr oder weniger alle Gesteine wieder, die schon auf dem Hohberg-Nordhang beschrieben wurden.

Wenn die ebengenannten Gesteine mit indifferenteren „Dioriten“ wechsel-lagern oder sich solche vom Typ a einschalten (also solche, die in flasrig angeordnetem Mafit große Plag haben), so scheint doch die durchgehend gleiche geologische Lagerung für einen ehemals (d. h. vor der differenzierenden Mobilisierung) gemeinsamen Komplex zu sprechen. Am deutlichsten ist die Lagerung natürlich an den (lit par lit „injizierten“) Schieferklippen erhalten: die Schichten stehen saiger bzw. leicht nach N überkippt, ziehen N 70 O und versinken nach W mit einer Neigung von 25°<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Es sei auf entsprechende Bemerkungen von Frau Dr. M. PETERS-RADZYK für das Diabasgebiet des Odenwaldes hingewiesen.

<sup>2</sup> Entsprechend den ms-Tapeten im „Dr“ vom Hahnenbusch.

### 5. Versuch einer genetischen Zusammenfassung.

Unter dem Namen „Diorit“ gehen verschiedene Gesteinstypen, denen ein intermediärer Charakter und die Zugehörigkeit zur Amphibolitfazies gemeinsam sind. Es zeigt sich, daß in den Randgebieten der Dioritzüge reichlich Gesteine auftreten, die zwischen einer schieferigen Relikttexturakkordant-flächige Schlieren mobilisierten Materials haben. Eine vollkommenere Dioritisierung erfuhren Gesteine, in denen sich die Mafite zu Haufwerken zusammenballten (Fleckendiorite). Diese liegen in einem Rahmen, der Granit-durchtrümert ist und Mischgesteine von Granit und Schiefer führt. Aber auch Typen mit aufgelockerter Schieferstruktur, großen Plagioklasen und wolkenartiger KF-Führung stehen hier an und wechseln ohne erkennbare Regel ab. Dazwischen finden sich jene texturell, modal und strukturell indifferenten „Diorite“, die die petrographische Aufnahme so erschweren und je nach Einstellung des Kartierenden zu dem einen oder anderen ausgeprägten (End)Typ geschlagen wurden. Erst als man anfing, den magmatischen Charakter gewisser „Diorite“ zu bezweifeln [36], und auch homophane Gesteine nicht von vornherein als magmatisch ausgeschiedene Differenziate hinnahm, war es möglich, auch das Dioritproblem des Bergsträsser Odenwaldes unvoreingenommen anzugehen.

Wenn nun aus den bisherigen Untersuchungen hervorgeht, daß (wenigstens ein Teil der) Diorite texturell Pseudomorphosen nach Schiefer darstellen und strukturell zu Dioriten konvergieren, so kommt sofort die Frage, wer die zur Umwandlung nötige thermische Energie geliefert hat. Die Granitdurchtrümmerung zeigt, daß der pt-Bereich zur fraglichen Zeit bei nicht unbeträchtlichen Werten lag. Das entspricht auch durchaus dem, was ERDMANNSDÖRFFER [29] für anatektische Vorgänge im Schwarzwald anführt. —

Unter welchen Umständen nun finden sich im granitischen Einflußfeld einmal Fleckengesteine, das andere Mal homophan-gestreckte Diorite und wieder anderswo vermittelnd-schlierig-bankige Typen? Oder anders: warum treten die einheitlichen Diorite einmal durch die schiefer-reliktischen Gesteine vom Granit *getrennt* auf (Heppenheim Dr-Zug), das andere Mal *im* Granitbereich und dann durch Mischgesteine mit jenen verbunden<sup>1</sup>?

Im Hinblick auf jene Fleckendiorite, die sicher schieferigen Ursprungs sind und im Hinblick auf den G/Dr/ms-Wechsel am Knodener Kopf u. a. hat man Grund, zumindest die Diorite, die mit Schiefer in akkordanter Wechsellage im granitischen Rahmen auftreten, als Sekundärgesteine aus Schiefern aufzufassen. Der Heppenheim-Lindenfelser Dioritzug wäre demnach als eine von *beiden* Seiten durch Schiefer flankierte Masse vorzustellen, bei der die NW-Flanke unter Granitinvasion zerstückelt und dioritisiert worden ist. Da aber auch ein Großteil der Diorite des Hauptzuges selbst migmatische Indizien hat (Streichrichtung, Schieferlagen, Fleckengesteine, dioritpegmatitische und anatektische Schlieren usw.), wird man nicht fehl gehen, auch diesen Diorit als nicht rein magmatisch aufzufassen. Gerade im Hinblick auf gewisse gabbroide Einschaltungen homophaner Nester (die Steinbrüche des Märkerwaldes) scheint zumindest für den SW-Teil des Zuges eine solche Überlegung nicht unberechtigt.

<sup>1</sup> Man muß hier auch fragen: sind die sog. Gabbrodiorite, die einen Plag basischer als 50% An haben, der *jünger* ist als die Ho, ohne weiteres als Magmatite aufzufassen? Zumal wir doch (Diabas)-Amphibolite haben, die bis zu poikilitischer Struktur kommen!

Es bleibt dann freilich immer noch ungewiß, ob etwa jene homophanen Stellen (entsprechend den eu-magmatischen anatektischen Schlieren im Kleinen) im Liegenden aufgeschmolzenes und dann durchgebrochenes Eigenmaterial sind<sup>1</sup>. Es zeigte sich ja, daß zweifellos ektekische Einschaltungen in Schiefern bis zu gabrodioritischer Ausbildung kommen.

Damit ist freilich nur eine vorläufige Antwort gegeben auf die generell gemeinte Frage ERDMANNSDÖRFFERS [22], die er im Anschluß an die Beschreibung des Erlenbacher Migmatites stellt: ob nämlich die hiesigen dioritischen Gesteine insgesamt ein „Embryonalstadium“ durchgemacht haben und welche Rolle noch eingeschlossener Schiefer spielt. ERDMANNSDÖRFFER weist darauf hin, daß die Gabbros und Diorite der Hauptzüge (des Frankensteins, des Zuges Reichenbach-Groß-Bieberau und des 3. Zuges: Heppenheim-Lindenfels) mehr magmatische Ausprägung zeigen als die Nebenzüge wie Erlenbach, u. a. mehr<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Es sei jedoch auch des Gesteinsverbandes westlich Gronau am Straßenknie nach Zell gedacht: An der Straße und am Weg gegenüber dioritische Gesteine mit reliktischer Schieferstruktur; darin (an den Westklippen) eine kontaktmetamorph veränderte Schieferscholle. Der östliche Felsen hingegen zeigt anatektisch durchschliertes kleinkörniges Gestein im Verband mit einem Ho-führenden gestreckten gröberkörnigen „Gh“. — Der Typenwechsel bei Gronau läßt sich so beschreiben, daß die Schieferkomponente dort besser erhalten bleibt, wo G beigemischt ist, und dort mehr verwischt ist, wo sich auch Gh beteiligt. Demnach ginge einem Übergang G- -Gh ein solcher von reliktischem ms-Diorit zu homophanem Diorit parallel; wobei eben jener Gh eine magmatische Komponente des Diorites darstellen könnte. Als Beispiel der Aufstieg vom Gronauer Friedhof zum Eichelsberg: Der Weg beginnt mit Gfl, dann Gh mit den typischen „Putzen“, dieser Gh durchschliert ms-artigen dunkleren Dr; sodann Zurücktreten der Gh-Komponente, Homophanerwerden des dunklen Diorites, der sich nun bergaufwärts ausbreitet.

<sup>2</sup> Für das Schollenaggglomerat zwischen Weiher-Waldmichelbach und Abtsteinach gilt das Gleiche wie für die Nebenzüge. Die LEINZSCHEN Physiographien [20] der Diorite und Amphibolite entsprechen ganz den Verhältnissen in unserem Gebiet; auch was Einzelheiten angeht, z. B. Erzeinlagerungen in der Ho, angedeutete Fleckendioritstrukturen (S. 93!) usw. Obwohl LEINZ selbst sagt, daß „schwieriger, ja oftmals sogar unmöglich eine Unterscheidung am Kontakt beider Gesteine (also Dr und Amphibolit) wird, wo sich die beiderseitigen Strukturen so angleichen, daß man nicht weiß, ob man ein metamorphes Gestein oder einen Dr vor sich hat“ und sein Verteilungskärtchen entsprechend gehalten ist, bleibt er doch in der Deutung unbestimmt. — Die Tatsache, daß die Amphibolite (im Variationsdiagramm) erst bei einem höheren si einsetzen, sich also zu gleichmäßig-grobkörnigem Augitdiorit kein metamorphes Äquivalent findet, spricht auch nicht unbedingt für einen „magmatischen Anteil“, da bei einer Mobilisierung in der Amphibolitfazies möglicherweise Gesteine der Gabrofazies (Gb, Db-Amphibolite) infolge der faziellen Instabilität stärker erfaßt und bevorzugt homogenisiert worden sind. Rückwirkend würde so verständlich, warum die stärker dioritischen, bzw. dioritisierten Gesteine im eigenen Kartierungsgebiet den basischen Plagi haben im Verhältnis zu jenen, die den An-Schwerpunkt schon von vorneherein in der Nähe der unteren Konvergenzgrenze haben (bei 35—30%), der ja gleichmäßig zugestrebt wird. — Zum Schluß soll noch einmal LEINZ selbst das Wort haben (S. 100): „... es kommen diese geschieferierten Diorite besonders um Unterflockenbach vor. Ihnen allen gemein ist eine deutliche PT. Ihre Zuordnung zu den Dioriten wird dadurch bedingt, daß sich in ihnen eine Ausscheidungsfolge der Mineralien feststellen läßt. Trotzdem wird die Abgrenzung von den Amphiboliten schwierig, manchmal nicht möglich, da die dem Diorit eigentümliche Altersfolge der Mineralien öfters nicht mehr einwandfrei vorhanden ist.“ „Wenn man das Handstück sieht, muß man im Zweifel sein, ob hier ein grobkörniger Amphibolit, ein geschieferter Diorit oder ein Mischgestein beider vorliegt. Der Mineralaufbau kann ja bei beiden Gesteinen völlig derselbe sein. Auch die PT läßt sich nicht als Entscheidungsmittel heranziehen, da auch sie beim Diorit sowohl wie auch beim Amphibolit auftreten kann. Die Struktur aber zeigt, daß es sich hier nicht um einen Amphibolit handeln kann, denn man kann eine

Und wir können jetzt hinzufügen: was das Erlenbacher Gestein für die SO-Flanke bedeutet, das ist das hybride Gestein zwischen Bensheim-Schönberg für die NW-Flanke des Diorithauptzuges. Die Ähnlichkeit der halb magmatischen, bis zur „gneisartigen“ Struktur (große FS!) kommenden Gesteine hie und dort ist nicht zu übersehen<sup>1</sup>.

Stellt man die aus der Kartierung sich ergebenden genetischen Beziehungen in einem Schema zusammen, so ergibt sich folgendes Bild (Abb. 28): Es besagt, daß der Granit (G), wenn keine Komplikationen eintreten, zur porphyrtartigen

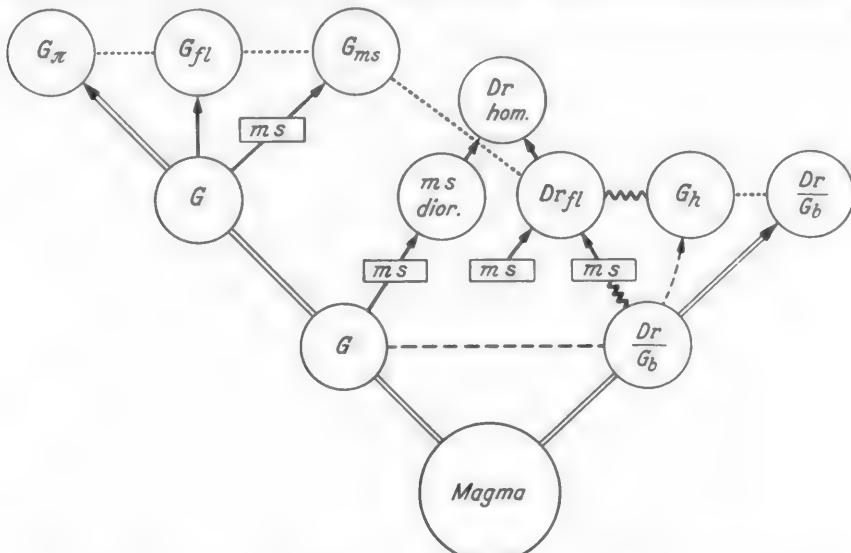


Abb. 28. Übergänge (...), Entwicklungslinien (→) und vermutbare Zusammenhänge (~) im Kästnergebiet.

Ausbildung kommt. Wird er jedoch tektonisch oder durch Schieferaufnahme (beides meist gekoppelt) beeinflußt, so geht er in eine flasrige ( $G_{fl}$ ) bis schiefer-Altersfolge, wenn auch nicht deutlich, feststellen“. „Die Entscheidung aber, ob ein Mischgestein vorliegt, erlaubt auch der relativ hohe Bi-Qu-Gehalt nicht, wenn auch die Nähe des Amphibolits dafür spricht. Diese gerichteten Diorite haben makroskopisch soviel Ähnlichkeit mit einem etwas grobkörnigen Amphibolit, daß eine Trennung im Gelände unmöglich wird“.

Man bedarf keines Kommentares, um die Entsprechungen zu sehen. Das Hin und Her der Beschreibung verschwindet, wenn man beide Gesteine aus einem gemeinsamen Gesichtspunkte heraus sieht (Entsprechendes bei den Fürstensteiner Dioriten [36]).

LEINZ gibt genaue Daten für die Hornblende, ohne allerdings zu kritischen, die Gesteine unterscheidenden Daten zu kommen. Es könnte auffallen, daß in der vorliegenden Arbeit keine ins Einzelne gehenden Angaben über die Ho gegeben wurden. Dazu ist zu bemerken, daß bei versuchsweisen Vergleichen von Einzeldaten ( $c:\gamma$  um  $15^\circ$ ,  $2 V\alpha$  um  $67^\circ$ ) genau wie bei LEINZ keine Gesetzmäßigkeiten (über die angegebenen hinaus) erkennbar waren. Eine ins einzelne gehende Physiographie hat erst für Detailkartierungen Sinn, wo der Gesteinswechsel dezimeterweise aufgenommen werden muß. Solche Aufnahmen werden sich aber nicht umgehen lassen, wenn man die anfallenden Probleme weiter vorantreiben will.

<sup>1</sup> Ich könnte die Beschreibung des Erlenbacher Gesteins wörtlich übernehmen, um auch unser Gestein zu kennzeichnen (ERDMANNSDÖRFFER [22], S. 81): „Die Struktur hat hier nie typisch „eruptive“ Züge, ist vielmehr blastisch, granoblastisch und besonders in feinkörnigen Teilen direkt hornfelsähnlich. Erst wo die Gesteine mehr homogenisiert (homophan) und richtungslos erscheinen, treten Anklänge an Strukturen eruptiver Art auf.“

einschlußreiche ( $G_{ms}$ ) Abart über. — Während bei den bisherigen Abarten der granitoide Phänotyp gewahrt bleibt, zeigen abyssisch aufgearbeitete Schiefer einen dioritischen Charakter (ms dior.): es handelt sich um  $\pm$  geschieferte Fleckengesteine bis zu gestreckten Typen; als Endprodukt können homophane Dr (Dr hom.) entstehen. — Ein sicher nachzuweisender dioritisch-gabbroider Anteil (Gb, Dr) tritt zurück. Wir haben aber flasige Diorite ( $Dr_{fl}$ ) bei denen ein ms-Anteil nachweisbar ist, während ein genetischer Zusammenhang mit Dioritdifferenziat (einer Granit-Gabroreihe) nicht sicher ist. Vermutungen, den  $Dr_{fl}$  mit Dr, Gb zu verbinden, könnten sich auf Übergänge von dioritischen Schlieren im  $Dr_{fl}$  zu  $G_h$ -Gesteinen stützen, wenn man den  $G_h$  — im Sinne der Ausführungen des 1. Kapitels — als eigenmagmatische Überarbeitung von Dr durch G auffaßt. Es ist aber eine Frage, ob man den  $G_h$  der Dioritgebiete mit dem (modal allerdings sehr ähnlichen)  $G_h$  der Hauptverbreitungsgebiete parallelisieren darf. Man könnte ebensogut argumentieren, daß solche Diorite im Liegenden der besprochenen Mobilisierungszone „aufgeschmolzen“ wurden und gefördertes Material darstellen. Die auf diese Weise reduzierte Frage nach der Materialherkunft wird in unserem Gebiete zunächst unbeantwortet bleiben müssen.

### Literatur.

#### I. Geologische Karten (1:25000).

Neunkirchen (CHELIUS 1901; KLEMM 1918), Lindenfels (CHELIUS 1901; KLEMM 1933), Zwingenberg u. Bensheim (CHELIUS u. KLEMM 1896). — Übersichtskarte (1:100000) KLEMM.

#### II. Literatur: Odenwald, chronologisch.

- [1] CHELIUS, C.: Mitteilungen aus dem Aufnahmegebiet. Notizblatt des Vereins für Erdkunde zu Darmstadt (in folgendem zitiert als VED), Folge 4 (1888) H. 8. — [2] CHELIUS: Geologischer Aufnahmebericht Neunkirchen. VED, Folge 4 (1893) H. 14. — [3] KLEMM, G.: Beobachtungen über die genetischen Beziehungen zwischen Odenwälder Gabbros und Dioriten. VED, Folge 4 (1906) H. 27. — [4] KLEMM: Bemerkungen über die Gliederung des Odenwaldes. VED, Folge 4 (1908) H. 29. — [5] KLEMM: Exk. Bericht der Deutschen Geologischen Gesellschaft Darmstadt. Z. dtsch. geol. Ges. Bd. 63 (1911) 8/10. — [6] KLEMM: Bericht über die Geologischen Aufnahmen des Bl. Neunkirchen. VED, Folge 4 (1913) H. 34. — [7] KLEMM: Die Granitporphyre und Alsbachite des Odenwaldes. VED, Folge 4 (1914) H. 35. — [8] KLEMM: Über die Beziehungen zwischen dem Böllsteiner und dem Bergsträßer Odenwald. VED, Folge 5 (1923) H. 6. — [9] KLEMM: Der Granit von Waldmichelbach. VED, Folge 5 (1923) H. 5. — [10] KLEMM: Bemerkungen über die Tektonik des Odenwaldes. VED, Folge 5 (1924) H. 7. — [11] KLEMM: Über die chemischen Verhältnisse der Gesteine des kristallinen Odenwaldes und des kristallinen Vorspessarts. VED, Folge 5 (1925) H. 8. — [12] KLEMM: Bemerkungen über die Granite der Böllsteiner Höhe im Odenwald. VED, Folge 5 (1929) H. 12. — [13] KLEMM: Exk. Bericht dtsch. Mineralog. Gesellschaft. Fortschr. Min. 14 (1929). — [14] KLEMM: Einschlüsse von Fremdgesteinen in den Dioriten des Odenwaldes. VED, Folge 5 (1930) H. 13. — [15] bis [20] Gleichzeitig mit KLEMM: [15] REINHEIMER, S.: Der Diorit vom Buch bei Lindenfels im Odenwald. Diss. Heidelberg 1920. — [16] BUBNOFF, S. v.: Tektonik und Intrusionsmechanismus im kristallinen Odenwald. Abh. preuß. geol. Landesanst., N. F. (1922) H. 89. — [17] EWALD, R.: Die geodynamischen Erscheinungen des kristallinen Odenwaldes als Beispiel einer geoistostatischen Ausgleichsschwingung. S. B. Heidelberger Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. A. 1924. — [18] VOELCKER, I.: Vergleichende Untersuchungen der Grund- und Deckgebirgsklüfte im südlichen Odenwald, Teil II. (Heidelberg.) Jb. Oberrhein. geol. Vereins 1926. — [19] KORN, D.: Tektonische und gefügeanalytische Untersuchung im Grundgebirge des Böllsteiner Odenwaldes; Neues Jb. Mineral., geol., Paläont. Abt. B Beil-Bd. 62 (1928). — [20] LEINZ, V.: Die Amphibolite des südlichen Odenwaldes und ihre Beziehungen zu Diorit und Granit. Min. Petr. Mitt. Bd. 42 (1931) H. 2. — [21] ERDMANNSDÖRFFER, O. H.: Schollen und Mischgesteine im Schriesheimer Granit. S. B. Heidelberger

Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. 1941. — [22] ERDMANNSDÖRFFER, O. H.: Die Diorite des Bergsträsser Odenwaldes und ihre Entstehungsweise. Heidelbg. Beitr. z. Mineral. u. Petrogr. H. 1 (1947).

### III. Sonstige Literatur.

[23] ERDMANNSDÖRFFER: Über die Biotitanreicherung in gewissen Granitkontaktegesteinen. Zbl. Mineral., Geol., Paläont. Nr 24 (1910). — [24] ERDMANNSDÖRFFER: Über Mischgesteine von Granit und Sedimenten. S. B. preuß. Akad. Wiss., physik.-math. Kl. (1912) 26. — [25] ERDMANNSDÖRFFER: Petrographische Untersuchungen an einigen Granitschieferkontakten der Pyrenäen. Neues Jb. Mineral., Geol., Paläont. Beil.-Bd. 37 (1914). — [26] ERDMANNSDÖRFFER: Über die Entstehungsweise gemischter Gänge und basischer Randzonen. Chem. d. Erde Bd. 1 (1915) 3. — [27] ERDMANNSDÖRFFER: Über die Bildungsweise der Erstarrungsgesteine. Geol. Rdsch. Bd. 7 (1917) 7/8. — [28] ERDMANNSDÖRFFER: Neuere Arbeiten über Metamorphismus und seiner Grenzgebiete. Fortschr. Mineral., Kristallogr. Petrogr. Bd. 20 (1936). — [29] ERDMANNSDÖRFFER: Studien im Gneisgebiet des Schwarzwaldes. XI: Die Rolle der Anatexis. S. B. Heidelberger Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. (1939). — [30] ERDMANNSDÖRFFER: XIII: Über Granitstrukturen. S. B. Heidelberger Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. (1942). — [31] ERDMANNSDÖRFFER: Myrmekit und Albitkornbildung in magmatischen und metamorphen Gesteinen. Zbl. Mineral., Geol., Paläont., Abt. A (1941) 3. — [32] ERDMANNSDÖRFFER: Über Intergranularsymplektite und ihre Bedeutung. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen math.-nat. Kl. (1946). — [33] ERDMANNSDÖRFFER: Hydrothermale Zwischenstufen im Kristallisationsablauf von Tiefengesteinen. Chem., Erde Bd. 15 (1943). — [34] ERDMANNSDÖRFFER: Über unausgereifte Magmatite (Aorite). Nachr. Akad. Wiss. Göttingen math.-naturw. Kl. (1946). — [35] DRESCHER, F. K.: Über Mikroklinhoholoblasten mit Grundgewebeinschlüssen, Internregelung usw. VED, Folge 5 (1927) H. 10. — [36] DRESCHER: Zur Genese der Diorite von Fürstenstein. Neues Jb. Mineral., Geol., Paläont., Abt. A Beil.-Bd. 60 (1930). — [37] DRESCHER: Über Assimilation usw. Chem. d. Erde Bd. 10 (1936). — [38] GRABER, V.: Die Redwitzite und Engelburgite usw. Mitt. geol. Ges. Wien (1929) 22. — [39] HIETANEN, A.: Über das Grundgebirge des Kalantigebietes im südwestlichen Finnland. Ann. Ac. Fenn. A (1943). — [40] KÖHLER, A. u. A. MARCHLT: Die moldanubischen Gesteine des Waldviertels (Niederdonau) und seiner Randgebiete. Fortschr. Mineral., Kristallogr. und Petrogr. Bd. 25 (1941).

Aus dem sedimentpetrographischen Institut der Universität Göttingen.

**Ein Nomogramm zur Bestimmung der veränderlichen Lichtbrechungsquotienten in beliebigen Schnitten optisch ein- und zweiachsiger Kristalle, sowie zur Bestimmung des Achsenwinkels  $2V$ .**

Von

**SIGMUND KORITNIG.**

Mit 9 Textabbildungen und 6 Tafeln.

(*Eingegangen am 30. Juni 1948.*)

**Zusammenfassung.**

Grundlage und Handhabung nebst Rechenbeispielen zu einem Nomogramm für die Berechnung der veränderlichen Lichtbrechungsquotienten in schiefen Schnitten zur Indikatrix, sowie zur Bestimmung des Achsenwinkels  $2V$  werden gegeben. Des weiteren Hinweise zur Anwendung auf damit zusammenhängende Aufgaben.

Bei der mikroskopischen Bestimmung optischer Daten, insbesondere in Körnerpräparaten, gibt es immer wieder Fälle in denen man das Mineralkorn nicht in alle jene Lagen bringen kann, um sämtliche Konstanten direkt messen zu können. Auch in Dünnschliffen wäre es manches Mal von Interesse die Brechungsquotienten in einem bestimmten schiefen Schnitt zu kennen. Die Berechnung der veränderlichen Lichtbrechungsquotienten in beliebigen Schnitten schief zur Indikatrix ist zwar nicht schwierig, aber insbesondere beim dreiachsigem Ellipsoid so umständlich, daß man auf die Berechnung meist verzichtet. Das geht so weit, daß man selbst in Datensammlungen  $n_a$ ,  $n_b$  und  $2V$  z. B. angeführt findet, für  $n_y$  aber ein ? steht. Manche praktische Anwendungsmöglichkeiten bleiben dadurch ungenutzt. So sei z. B. nur auf die Schwierigkeiten bei der Mineralbestimmung in Körnerpräparaten bei sedimentpetrographischen Untersuchungen hingewiesen. Mit Hilfe der vorliegenden Kurven ist es nun möglich, unter Ausführung einer nur geringfügigen Zwischenrechnung die gewünschten Werte mit hinreichender Genauigkeit zu erhalten.

Alle Schnitte durch die FLETSCHERSche Indikatrix eines ein- oder zweiachsigen Minerals sind bekanntlich Ellipsen, die nur im Falle der Lage der Schnittebene senkrecht zu einer optischen Achse in Kreise übergehen. Die Achsen dieser Schnittellipsen geben ihrer Größe nach  $n_y$  und  $n_a$  der beiden in diesem Schnitt liegenden Hauptbrechungsquotienten an. Wie im einzelnen weiter unten ausgeführt, lassen sich alle Bestimmungen, auch die am dreiachsigem Ellipsoid auf Beziehungen zurückführen, wie sie in einem Ellipsenquadranten der Abb. 1 herrschen. Wenn 3 von den 4 Bestimmungsstücken  $a$ ,  $b$ ,  $r$  und  $\varrho_0$  bekannt sind, läßt sich das vierte z. B. aus der Mittelpunktpolargleichung der Ellipse nach der Formel

$$r = \frac{ab}{\sqrt{b^2 \sin^2 \varrho_0 + a^2 \cos^2 \varrho_0}}$$

berechnen. Das vorliegende Nomogramm gibt in seinen Kurven nun die Beziehung dieser elliptischen Funktion wieder, indem einmal  $b$  ( $N_0$ -Werte der Ordinate), das andere Mal  $a$  ( $n_0$ -Werte der Ordinate) gleich 1 gesetzt wurde. Das Nomogramm gestattet es also nach dem Schema der Abb. 2, wenn 3 von den 4 Bestimmungsstücken gegeben sind, das vierte abzulesen.

Wenn wir für  $a$ ,  $b$  und  $r$  jeweils die entsprechenden Brechungsquotienten einsetzen und für  $\varrho_0$  den zugehörigen Winkel analog etwa der Abb. 4, so kann aus den gegebenen  $\varepsilon$ ,  $\omega$  und  $\varrho$  das  $\varepsilon'$  abgelesen werden. Um die Kurven für die verschiedensten bei den Mineralen vorkommenden Lichtbrechungen verwenden zu können, wurde wie schon eingangs erwähnt, eine der Achsen = 1 gesetzt.

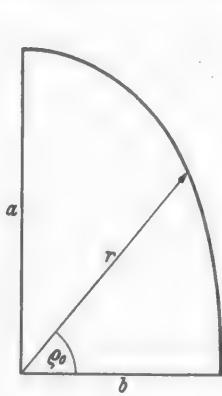


Abb. 1. Ellipsenquadrant mit Fahrstrahl  $r$ .

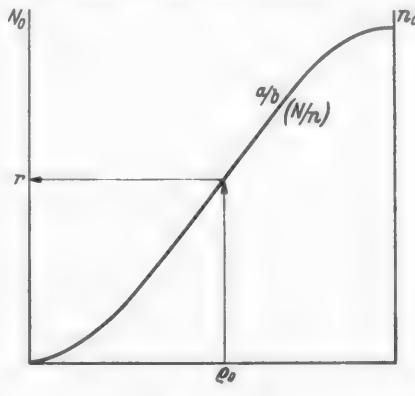


Abb. 2. Graphische Darstellung der elliptischen Funktion  $r = \frac{a}{b} \cdot \frac{N_0}{n_0}$

Das heißt die Kurven sind nach dem Verhältnis  $n_{\text{größer}}/n_{\text{kleiner}}$  beziffert. Um den absoluten Wert von  $r$  bzw. z. B.  $\varepsilon'$  der Abb. 4 zu erhalten, ist der an der Ordinate abgelesene  $N_0$ -Wert noch mit  $n_{\text{kleiner}}(\omega)$  bzw. der  $n_0$ -Wert mit  $n_{\text{größer}}$  zu multiplizieren. Im einzelnen werden die Arbeitsregeln weiter unten noch näher erläutert.

Im Nachstehenden seien nun zuerst ganz allgemein die Beziehungen der veränderlichen Lichtbrechungsvektoren der Ebene  $P(hkl)$  zur Indikatrix, soweit wir sie zur Lösung der Aufgaben für ein- und zweiachsige Kristalle mittels des Nomogramms benötigen, erklärt.

### I. Optisch einachsige Kristalle.

Abb. 3 zeigt uns einen Oktanten der Indikatrix eines einachsigen (+) Minerals. Der Flächenpol  $P$  der Fläche  $(hkl)$  in der  $\omega$  und  $\varepsilon'$  schwingen, ist unter dem Winkel  $\varrho$  von der  $c$ -Achse ( $\varepsilon$ ) entfernt. Diese Ebene  $(hkl)$  durch den Mittelpunkt  $O$  gelegt, ergibt mit der Indikatrix eine Schnittellipse, deren kleine Achse  $\omega$  und deren große  $\varepsilon'$  der Richtung und Größe nach entsprechen. In Abb. 4 ist der Schnitt  $OPCA$  herausgezeichnet und wir können daraus ersehen, daß der Winkel  $\varrho_0$  der in unserem Nomogramm auf der Abszissenachse aufgetragen ist, gleich dem  $\varrho$  der Fläche  $P(hkl)$  entspricht. Die Analogie mit der allgemeinen Ellipse der Abb. 1 ist im übrigen deutlich ersichtlich.

Für die Verhältnisse bei einem optisch (—) Kristall gibt uns die Abb. 5 eine Anschauung. Wir sehen, daß wir in diesem Falle für  $\varrho_0$  des Nomogramms (90 —  $\varrho$ ) einsetzen müssen.

## II. Optisch zweiachsige Kristalle.

Etwas komplizierter werden die Verhältnisse beim dreiachsisigen Ellipsoid. Abb. 6 zeigt uns einen Oktanten aus einer solchen Indikatrix, deren Achsen  $n_\alpha$ ,

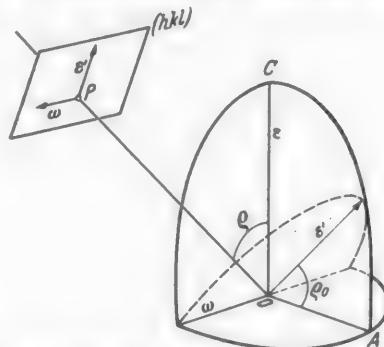


Abb. 3. Oktant aus der Indikatrix eines optisch einachsigen positiven Kristalls.

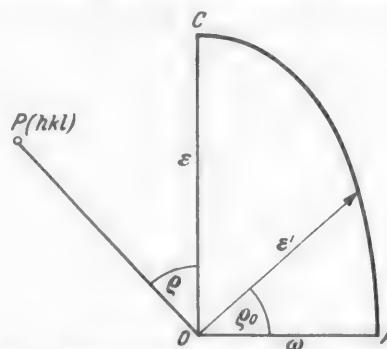


Abb. 4. Hauptschnitt aus dem Oktanten der Abb. 3.

$n_\beta$  und  $n_\gamma$  sind. Die Strecke  $OB$  entspräche hier dem  $n_\gamma$  der Ebene  $P(hkl)$ . Abb. 7b zeigt uns daraus den Schnitt  $COA$ , der dem der Abb. 4 entspricht. Als große Achse in diesem Ellipsenquadranten haben wir  $n_\gamma$ , als kleine aber leider nicht mehr einen bekannten Wert wie z. B.  $\omega$  der Abb. 4, sondern einen

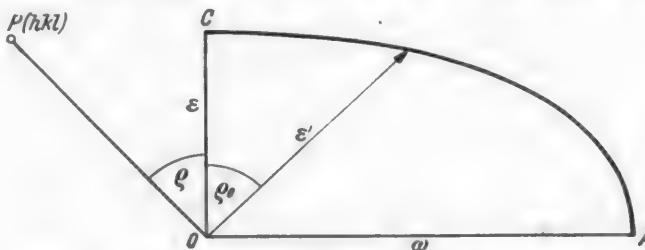


Abb. 5. Hauptschnitt aus einem Oktanten der Indikatrix eines optisch einachsigen negativen Kristalls.

Wert  $OA$  der zwischen  $n_\alpha$  und  $n_\beta$  liegt (vgl. Abb. 6). Wir können ihn aber leicht bekommen, da er dem  $r$  in einem Ellipsenquadranten mit den Achsen  $n_\alpha$  und  $n_\beta$  mit dem Winkel  $\varphi$  entspricht. Wenn letzterer bekannt ist, kann er ohne weiteres mit dem Nomogramm bestimmt werden. Abb. 7a zeigt diesen Schnitt  $DOE$  der Abb. 6.

Zur Erlangung der für die Bestimmung notwendigen  $\varrho_0$  und  $\varphi_0$ -Werte des Punktes  $B$  (also  $[n_\gamma]$  bzw.  $[n_\alpha']$ ) ist eine einfache Konstruktion mit dem WULFF-schen Netz auszuführen<sup>1</sup>. Diese ist leider nicht zu umgehen und muß übrigens auch bei reiner Rechnung ohne Benutzung des Nomogramms zur Bestimmung der Richtungskosinus ausgeführt werden.

<sup>1</sup> Liegt die Fläche in einer der Zonen  $[n_\alpha]$ ,  $[n_\beta]$  oder  $[n_\gamma]$  so vereinfacht sich die Bestimmung. Man kann dann nach dem Schema eines einachsig-positiven Kristalls arbeiten. An Stelle von  $\epsilon$  und  $\omega$  tritt  $n_\gamma$  und  $n_\alpha$ ,  $n_\gamma$  und  $n_\beta$  oder  $n_\beta$  und  $n_\alpha$  und für  $\epsilon'$   $n_\gamma'$ .

Zur Ausführung der Konstruktion hat man vorerst den Pol der Fläche ( $hkl$ ) in der richtigen Orientierung zum Koordinatenkreuz  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$ ,  $n_\gamma$ , das zweckmäßig wie in Abb. 8 orientiert wird, in der stereographischen Projektion einzutragen<sup>1</sup>.

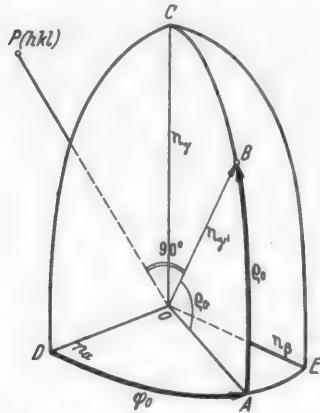


Abb. 6. Oktant aus der Indikatrix eines optisch zweiaxialen Kristalls.

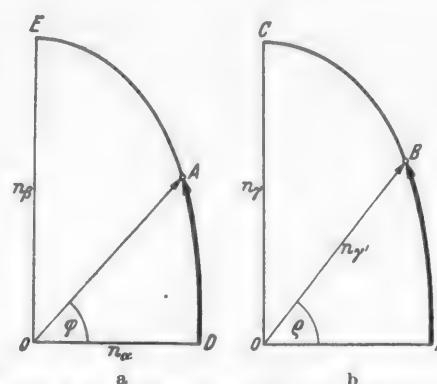


Abb. 7a u. b. Zwei Schnitte aus dem Oktanten der Abb. 6.

Anschließend wird die bekannte FRESNELSCHE Konstruktion ausgeführt. Man erhält dann die Durchstoßpunkte von  $[n_{\gamma'}]$ , bzw.  $[n_\alpha']$  dem  $B$  der Abb. 6. Abb. 8 zeigt schematisch zur Erinnerung die FRESNELSCHE Konstruktion und den Sinn wie  $\varrho_0$  und  $\varphi_0$  für  $[n_{\gamma'}]$  bzw.  $[n_\alpha']$  abgelesen wird. Es ist gleichgültig ob das Mineral optisch (+) oder (-) ist, da große und kleine Achse der Ellipsen sich dabei nicht vertauschen.

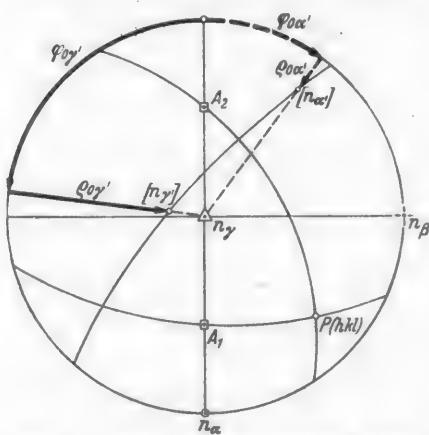


Abb. 8. Schema der FRESNELSchen Konstruktion mit Ablesesinn der Winkelkoordinaten  $\varrho$  und  $\varphi$  für die Durchstoßpunkte von  $[n_{\gamma'}]$  und  $[n_\alpha']$ .

haben wir einen optisch (+), von uns. Zur Vereinfachung ist auf der Abszissenachse unterhalb der  $\varrho_0$  Skala eine solche für  $2V$  angebracht.

### III. Bestimmung des Achsenwinkels $2V$ aus den 3 Brechungsquotienten.

Das vorliegende Nomogramm kann auch dazu benutzt werden, aus den 3 Hauptbrechungsquotienten den Achsenwinkel  $2V$  zu bestimmen. Ein ganz ähnliches Diagramm haben seinerzeit RÖSCH und STÜRENBURG [5] schon für diesen Zweck veröffentlicht. Abb. 9 zeigt, daß wenn  $n_\gamma = n_\beta$  — dann haben wir ja einen Kreisschnitt —  $\varrho$  gleich  $V$ , ist. Solange  $V$  zwischen  $0^\circ$ — $45^\circ$  liegt,

<sup>1</sup> Beim rhombischen Kristallsystem ist die Eintragung von  $P(hkl)$  zum neuen Koordinatenkreuz einfach. Je nach Lage der Optik zur kristallographischen Aufstellung können die  $\varrho$  und  $\varphi$ -Werte der GOLDSCHMIDTSchen Winkeltabellen [1] (bzw. deren Supple-

#### IV. Genauigkeit des Verfahrens.

Für die Konstruktion des vorliegenden Nomogramms wurden etwas über 600 Punkte nach der Gleichung für  $r$  auf S. 471 mit den SCHRÖNSchen [8] siebenstelligen Logarithmen berechnet. Zwischenliegende Punkte wurden durch Interpolation festgelegt.

Die Tafeln sind so eingerichtet, daß an den Skalen die 4. Dezimale als Korrekturgröße größtenordnungsmäßig noch sicher abgelesen werden kann. Das heißt, es ist vorausgesetzt, daß die Meßdaten auf denen die Berechnung beruht, genau genug sind, damit die Brechungsquotienten in den ersten 3 Dezimalen genau berechnet werden können. Um diese Genauigkeit zu erreichen, ist es natürlich auch notwendig, daß die zu bildenden Quotienten von  $n_{\text{größer}}/n_{\text{kleiner}}$  auf 3—4 Dezimalen gerechnet werden. Am zweckmäßigsten führt man diese Zwischenrechnungen logarithmisch aus. Es genügen 4—5stellige Logarithmentafeln. Rechenschieber, sofern man nicht ein großes Modell benutzt, geben auch für überschlagsmäßige Rechnungen im allgemeinen zu ungenaue Werte. Beim Interpolieren zwischen 2 Kurven teile man die Ordinate linear, nicht den senkrechten Abstand zwischen 2 Kurven.

Der Einfluß der Ausgangswerte auf das Endergebnis (Fehlerdiskussion) ist an Hand der Kurven sehr einfach zu übersehen. Da wir es in den Tafeln ja nicht mit einer linearen Funktion zu tun haben, so sind die Auswirkungen nicht überall gleichmäßig. Bei der Berechnung der Brechungsquotienten kann man allgemein sagen, daß das Endergebnis etwa dieselbe Genauigkeit wie die Ausgangswerte besitzt. Für die Berechnung des Achsenwinkels sind 3 Dezimalen unerlässlich. Der Fehler, der durch eine Einheit der 3. Dezimale hervorgerufen werden kann, ist sehr verschieden und kann von  $\frac{1}{2}^\circ$ — $10^\circ$  und mehr ausmachen, was aber an dem Kurvenverlauf — steil oder flach — sofort gesehen werden kann. Bei der Verwendung von  $2V$  zur Berechnung eines Brechungsquotienten macht sich diese Eigenschaft natürlich reziprok in günstiger Weise geltend.

#### V. Handhabung des Nomogramms.

Auf Tafel 1 finden wir links oben ein Schema des Nomogramms mit der Abgrenzung der Bereiche der 6 einzelnen Tafeln gezeichnet. Es kann zur leichteren Auffindung der jeweils zu benutzenden Tafel verwendet werden. Meistens wird man Tafel 2 oder 3 verwenden.

Aus den in den vorhergehenden Kapiteln erläuterten Beziehungen ergeben sich im einzelnen für die Benutzung des Nomogramms nachstehende Arbeitsregeln.

mente oder vertauscht) zur Eintragung verwendet werden. Bei monoklinen Kristallen ist die Projektion um den Auslöschungswinkel  $n/c$  um die  $b$ -Achse zu wälzen. Bei triklinen Kristallen muß man aus den allgemeinen Angaben die Eintragungen vornehmen.

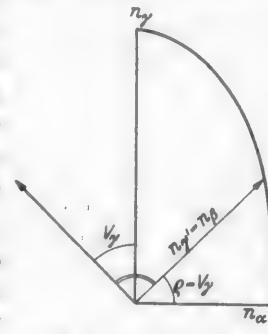


Abb. 9. Beziehung des Achsenwinkels  $2V$  zu  $e_0$  und  $n_y$  im Hauptschnitt  
 $n_\alpha - n_y$ .

*A) Für optisch einachsige Kristalle.*

a) *Gesucht  $\varepsilon'$  in der Fläche  $P(hkl)$ .* Es muß gegeben sein:  $\varrho^1 P(hkl)$ ,  $\varepsilon$  und  $\omega$ .

(+) Von  $\varrho_0 = \varrho$  aufwärts bis zur Kurve  $\varepsilon/\omega$ , vom Schnittpunkt horizontal,  $N_0$  ablesen

$$N_0 \cdot \omega = \varepsilon' .$$

(-) Von  $\varrho_0 = (90 - \varrho^1)$  aufwärts bis Schnittpunkt mit Kurve  $\omega/\varepsilon$ , dann horizontal bis  $N_0$

$$N_0 \cdot \varepsilon = \varepsilon' .$$

b) *Gesucht  $\varepsilon$ .* Es muß gegeben sein:  $\varrho^1 P(hkl)$ ,  $\varepsilon'$  und  $\omega$ .

(+) Von  $N_0$ -Skala mit  $\varepsilon'/\omega$  horizontal bis Schnittpunkt mit Ordinate von  $\varrho_0 = \varrho$  ergibt Kurve  $N/n$

$$N/n \cdot \omega = \varepsilon .$$

(-) Von  $N_0$ -Skala mit  $\varepsilon'/\omega$  horizontal bis Schnittpunkt mit der Ordinate  $\varrho_0 = (90 - \varrho)$  ergibt Kurve  $N/n$ . Für diesen  $N/n = N_0$ -Wert auf der  $n_0$ -Skala den entsprechenden reziproken  $n_0$ -Wert ablesen

$$n_0 \cdot \omega = \varepsilon .$$

*B) Für optisch zweiachsige Kristalle.*

Bevor man an die eigentliche Bestimmung mit den Tafeln schreiten kann, muß durch eine kurze Konstruktion  $\varrho_0$  und  $\varphi_0$  des gesuchten  $[n_{\gamma'}]$  bzw.  $[n_{\alpha'}]$  ermittelt werden<sup>2</sup>. In einer stereographischen Projektion ist mit Hilfe des WULFFSchen Netzes der Flächenpol  $P(hkl)$  der zu untersuchenden Fläche genau in seiner Lage zu dem rechtwinkeligen Koordinatenkreuz von  $n_{\alpha}$ ,  $n_{\beta}$ ,  $n_{\gamma}$  einzutragen. Es ist zweckmäßig, wenn man hierbei in der stereographischen Projektion, wo üblicherweise die Durchstoßpunkte der Achsen  $a$ ,  $b$  und  $c$  zu liegen kommen,  $n_{\alpha}$ ,  $n_{\beta}$  und  $n_{\gamma}$  setzt (s. Abb. 8). Nach Durchführung der FRESNELSchen Konstruktion kann  $\varrho_0$  und  $\varphi_0$ , der Punkte  $[n_{\gamma'}]$  und  $[n_{\alpha'}]$  abgelesen werden. Wie Abb. 8 zeigt, wird  $\varphi_0$  von der  $n_{\alpha}$ -Achse und  $\varrho_0$  vom Äquator aus gemessen. Zählung immer positiv.

Für die weitere Bestimmung mit dem Nomogramm ergeben sich folgende Arbeitsregeln:

a) *Gesucht  $n_{\gamma'}$  in der Fläche  $P(hkl)$ .* Gegeben muß sein:  $n_{\alpha}$ ,  $n_{\beta}$ ,  $n_{\gamma}$  und  $\varphi_{0\gamma'}$ ,  $\varrho_{0\gamma'}$  (Werte der FRESNEL-Konstruktion).

1. Von  $\varrho_0 = \varrho_{0\gamma'}$  bis Kurve  $N/n = n_{\beta}/n_{\alpha}$  und liest an der Ordinate den  $N_0$ -Wert ab

$$N_0 \cdot n_{\alpha} = Z \quad (\text{Zwischenwert } \overline{OA} \text{ der Abb. 6 und 7a}).$$

<sup>1</sup> Kann den V. GOLDSCHMIDTSchen Winkeltabellen [1] entnommen werden.

<sup>2</sup> Vereinfachung in bestimmten Fällen vgl. Fußnote 1, S. 473.

2. Von  $\varrho_0 = \varrho_{0\gamma'}$  bis zur Kurve  $N/n = n_\gamma/Z$  und liest dafür an der Ordinate den  $N_0$ -Wert ab

$$N_0 \cdot Z = n_{\gamma'} .$$

Zur Bestimmung von  $n_{\alpha'}$  wird ganz gleich verfahren, nur hat man die  $\varrho_{0\alpha'}$  und  $\varphi_{0\alpha'}$  von  $[n_{\alpha'}]$  zu verwenden.

b) *Gesucht*  $n_{\alpha'}$ . Gegeben muß sein:  $n_\beta$ ,  $n_\gamma$  und  $2V$ .

Von der Ordinate mit dem Wert  $n_\beta/n_\gamma$  ( $n_0$ -Skala) bis zum Schnitt mit der Ordinate von  $2V$  ergibt Kurve  $N/n = n_\gamma/n_{\alpha'}$ . Für diesen den entsprechenden reziproken  $n_0$ -Wert ablesen

$$n_0 \cdot n_\gamma = n_{\alpha'} .$$

c) *Gesucht*  $2V$ . Gegeben muß sein:  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$ ,  $n_\gamma$ .

Von der Ordinate mit  $n_\beta/n_\alpha$ -Wert bis zum Schnitt mit der Kurve  $n_\gamma/n_{\alpha'}$ , auf der Abszisse  $2V$  und optischen Charakter ablesen.

## VI. Rechenbeispiele.

Zur weiteren Erläuterung seien im Nachstehenden noch einige Zahlenbeispiele gegeben, an deren Hand man am leichtesten die Handhabung des Nomogramms überprüfen kann.

1. *Gesucht*  $\varepsilon'$  für ein Dolomitspaltplättchen.

Gegeben.  $\omega = 1,6800$ ,  $\varepsilon = 1,5013$ ,  $\varrho$  für  $(11\bar{2}1)$   $43^\circ 5'$  (nach V. GOLDSCHMIDT-Winkel-tabellen).

*Ausführung.* Nach Regel Aa): Von Abszisse  $(90 - \varrho) = 46^\circ 09'$  bis zur Kurve  $\omega/\varepsilon = 1,6800/1,5013 = 1,119$  (Tafel 4), an der linken Ordinatenseite den entsprechenden  $N_0$ -Wert = 1,057 ablesen. Dieser Wert mit  $\varepsilon = 1,5013$  multipliziert 1,5869. Auf 3 Dezimalstellen aufgerundet ist  $\varepsilon' = 1,587$ .

2. *Gesucht*  $\varepsilon$  für Dioptras aus Messung von  $\varepsilon'$  und  $\omega$  in einem Spaltplättchen.

Gegeben.  $\omega = 1,644$ ,  $\varepsilon' = 1,675$ ,  $\varrho$  für  $(11\bar{2}1) = 50^\circ 48'$  (nach GOLDSCHMIDT-Winkel-tabellen).

*Ausführung.* Nach Regel Ab): Von der Ordinate  $N_0 \varepsilon'/\omega = 1,675/1,644 = 1,019$  (Tafel 3) bis Schnitt mit Ordinate von  $\varrho_0 = 50^\circ 48'$  ergibt Kurve 1,032. Dieser Wert mit  $\omega$  multipliziert ergibt  $\varepsilon = 1,697$ .

3. *Gesucht Dicke eines Dünnschliffs* mit Hilfe von im Schliff vorhandenem Kalkspat.

Gegeben. Messung am Drehtisch Neigung der optischen Achse zur Schleifebene =  $(90 - \varrho) = 60^\circ$ . Gangunterschied mit Kompensator gemessen = 1200 m $\mu$ ;  $\omega = 1,658$ ,  $\varepsilon = 1,486$ .

*Ausführung.* Nach Regel Aa): Wie bei Aufgabe 1  $\varepsilon'$  mit 1,609 festgestellt. Damit ist  $\varepsilon' - \omega = 0,049$  gegeben.  $d = \text{Gangunterschied/Doppelbrechung} = 1200/0,049 = 24489$  m $\mu$  oder, auf die Genauigkeit des Nomogramms abgerundet:  $d = 0,024(5)$  mm.

4. *Gesucht*  $n_\gamma$  für einen schießen Schnitt eines Staurolithkristalls.

Gegeben.  $n_\alpha = 1,747$ ,  $n_\beta = 1,753$ ,  $n_\gamma = 1,762$ ,  $2V = 80^\circ 39'$  Lage der Schleifebene am Drehtisch festgelegt. Nach Durchführung der FRESNELSchen Konstruktion erhalten für  $\varphi_{0\gamma'} = 30^\circ$  und  $\varrho_{0\gamma'} = 40^\circ$ .

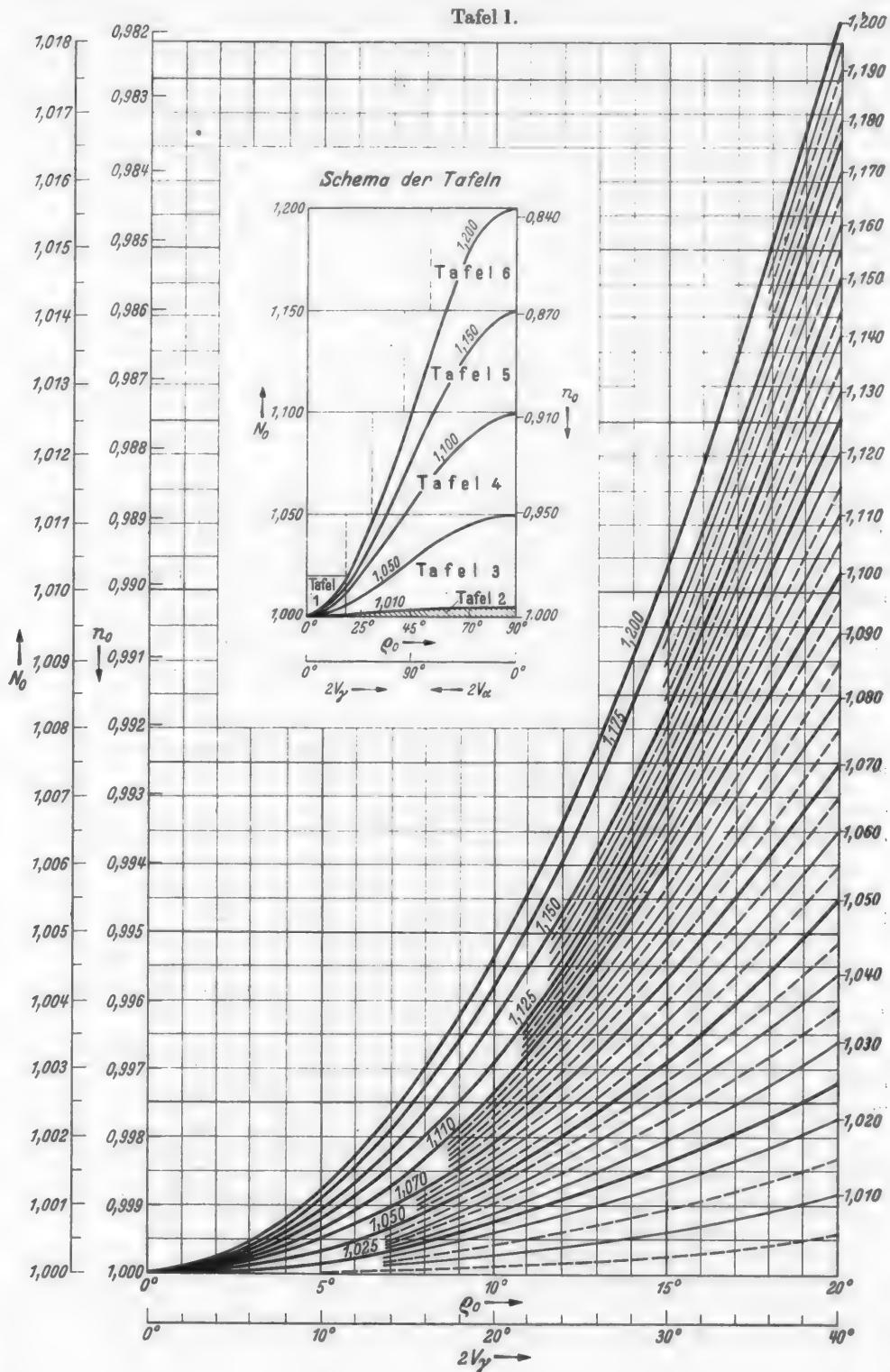
*Ausführung.* Nach Regel Ba): 1. Schritt: Von Ordinate  $30^\circ$  bis zur Kurve  $n_\beta/n_\alpha = 1,753/1,747 = 1,0037$  (Tafel 2). Vom Schnittpunkt horizontal an  $N_0$ -Ordinate abgelesen = 1,0009. Dieser Wert mit  $n_\alpha = 1,747$  multipliziert ergibt für  $Z = 1,7486$ . 2. Schritt: Nun von  $\varrho_0 = 40^\circ$  bis zur Kurve  $n_\gamma/Z = 1,762/1,7486 = 1,0077$  und liest an der Ordinate dafür 1,0031 ab. Dieser Wert mit  $Z$  multipliziert ergibt  $n_\gamma = 1,754$ .

5. *Gesucht*  $n_{\alpha'}$  und  $n_{\gamma'}$  in einem Disthenspaltblättchen von (010).

Gegeben.  $n_\alpha = 1,713$ ,  $n_\beta = 1,722$ ,  $n_\gamma = 1,729$ ,  $2V = 82^\circ 30'$ .

*Ausführung.* Mittels FRESNELScher Konstruktion bestimmt für  $[n_{\gamma'}] \varphi = 80^\circ \varrho = 62^\circ$ , für  $[n_{\alpha'}] \varphi = 18^\circ \varrho = 3^\circ$ .

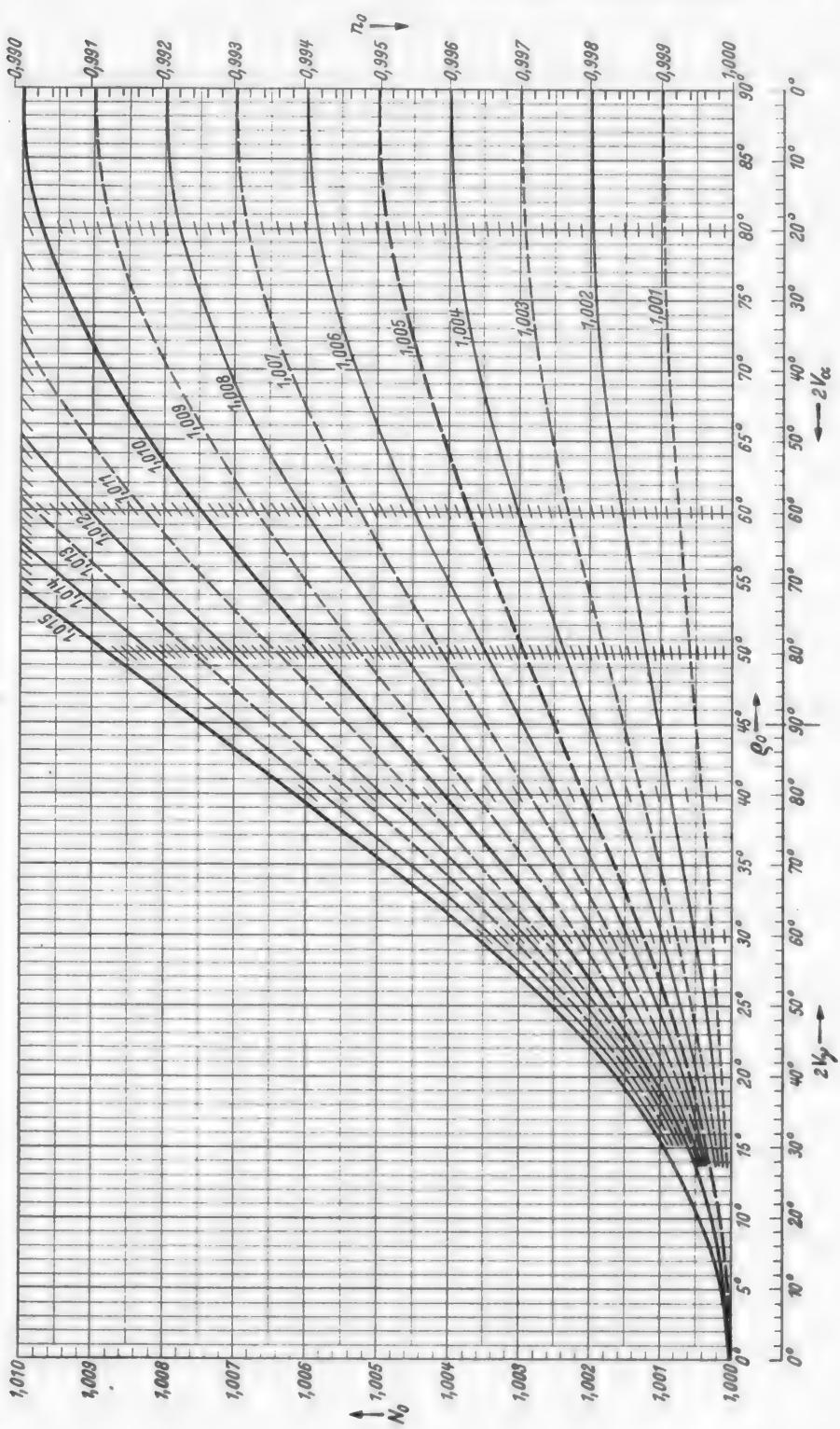
Tafel 1.



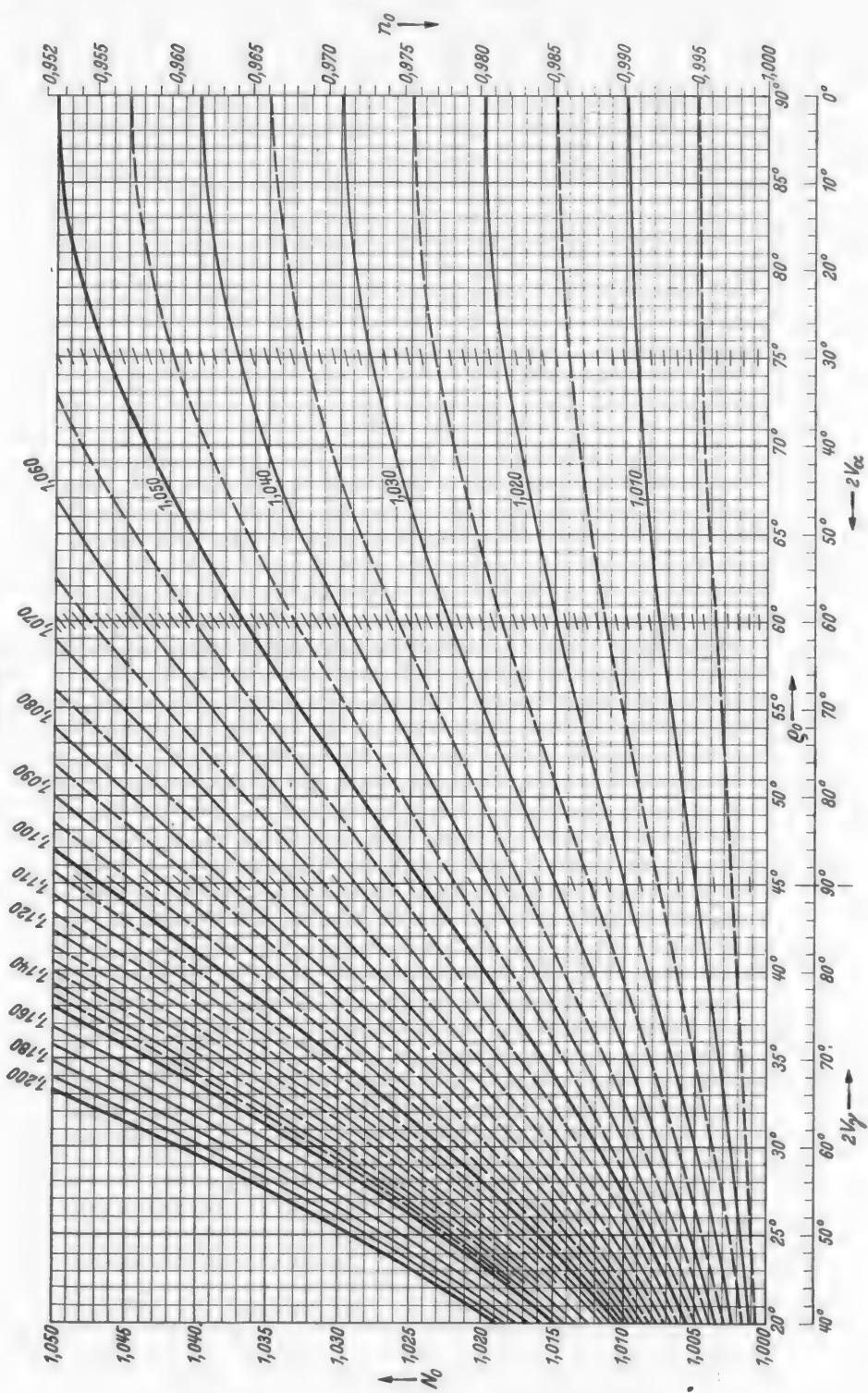
Nomogramm zur Bestimmung der veränderlichen Lichtbrechungsquotienten.

479

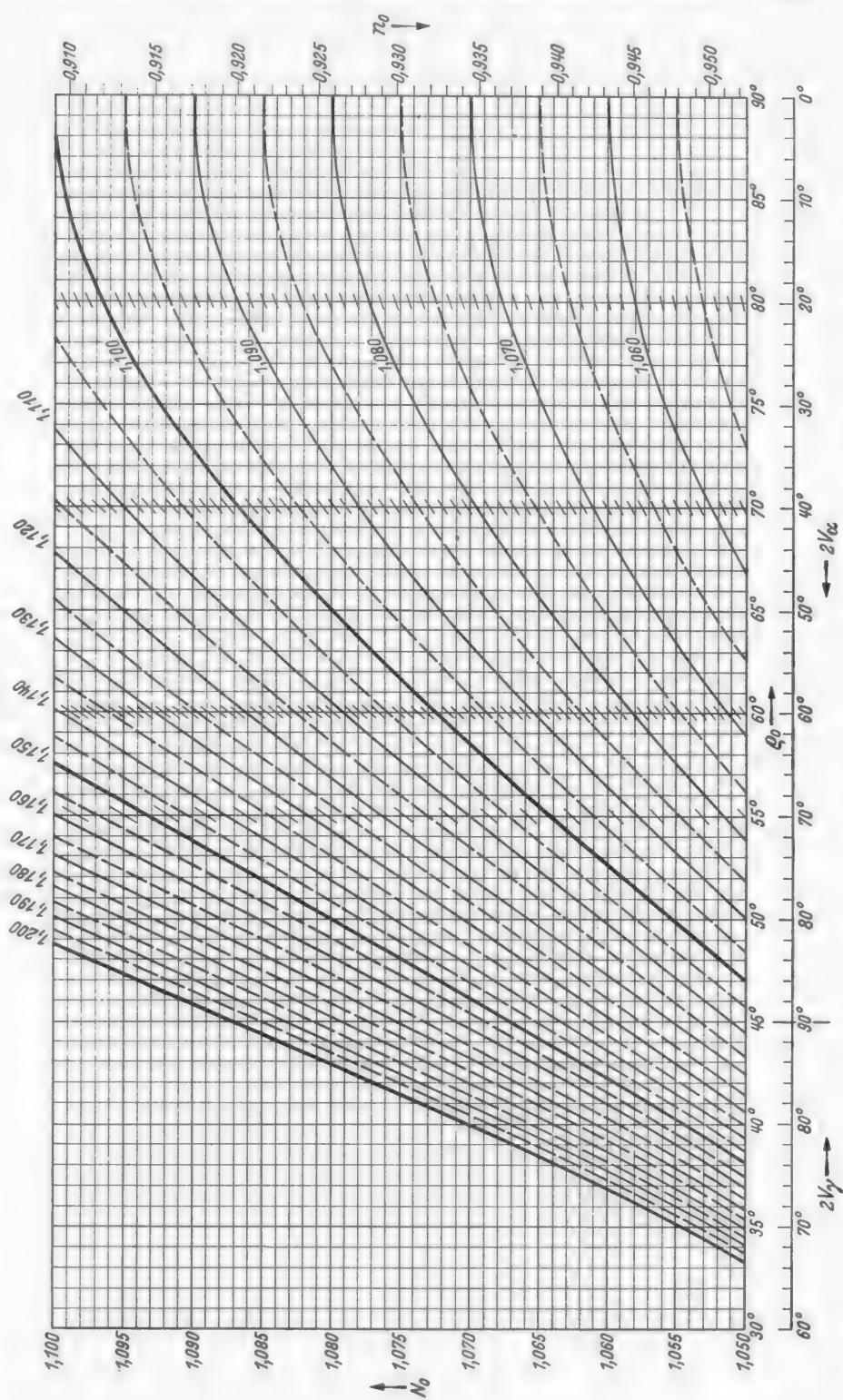
Tafel 2.



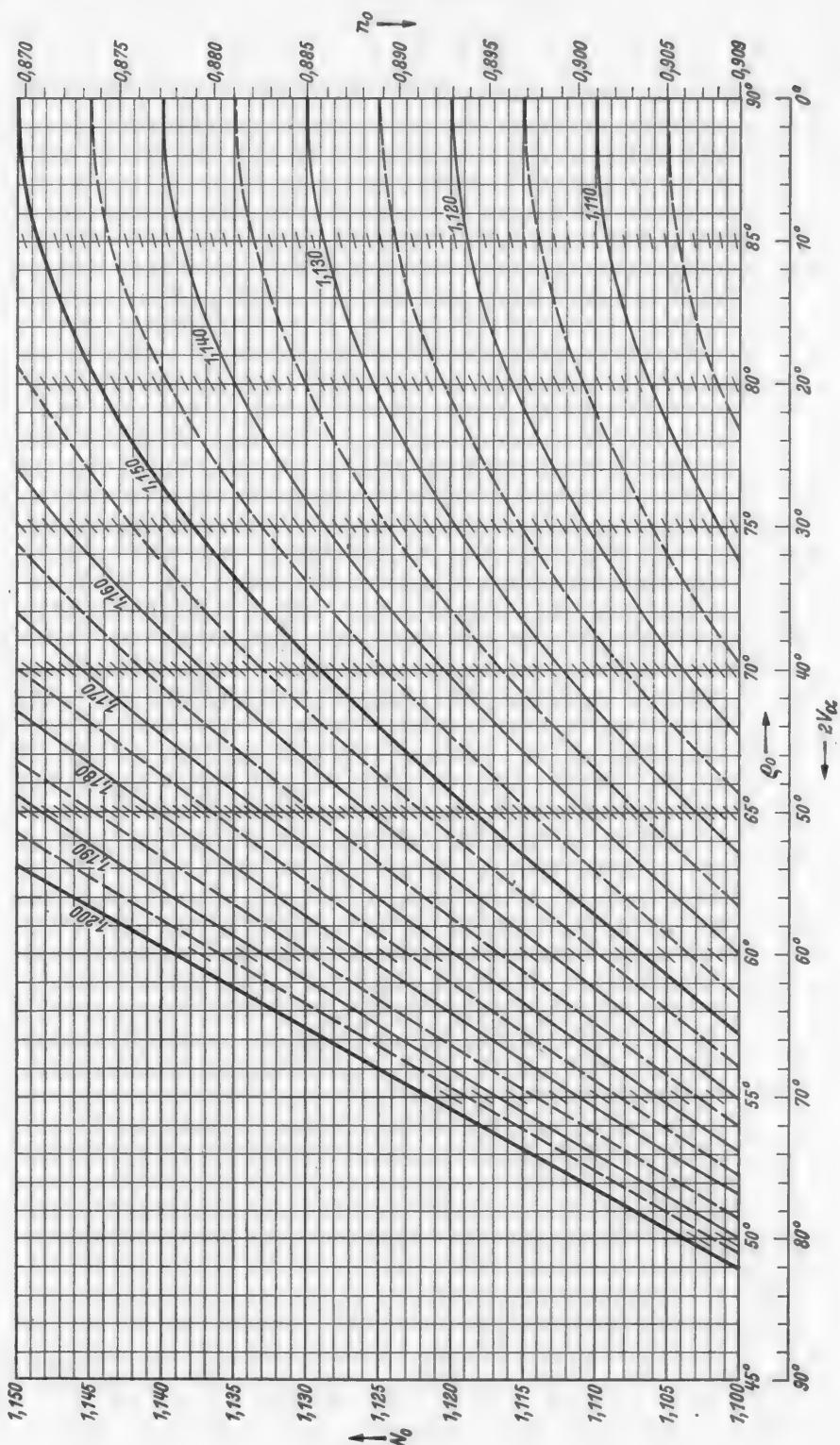
Tafel 3.



Tafel 4.



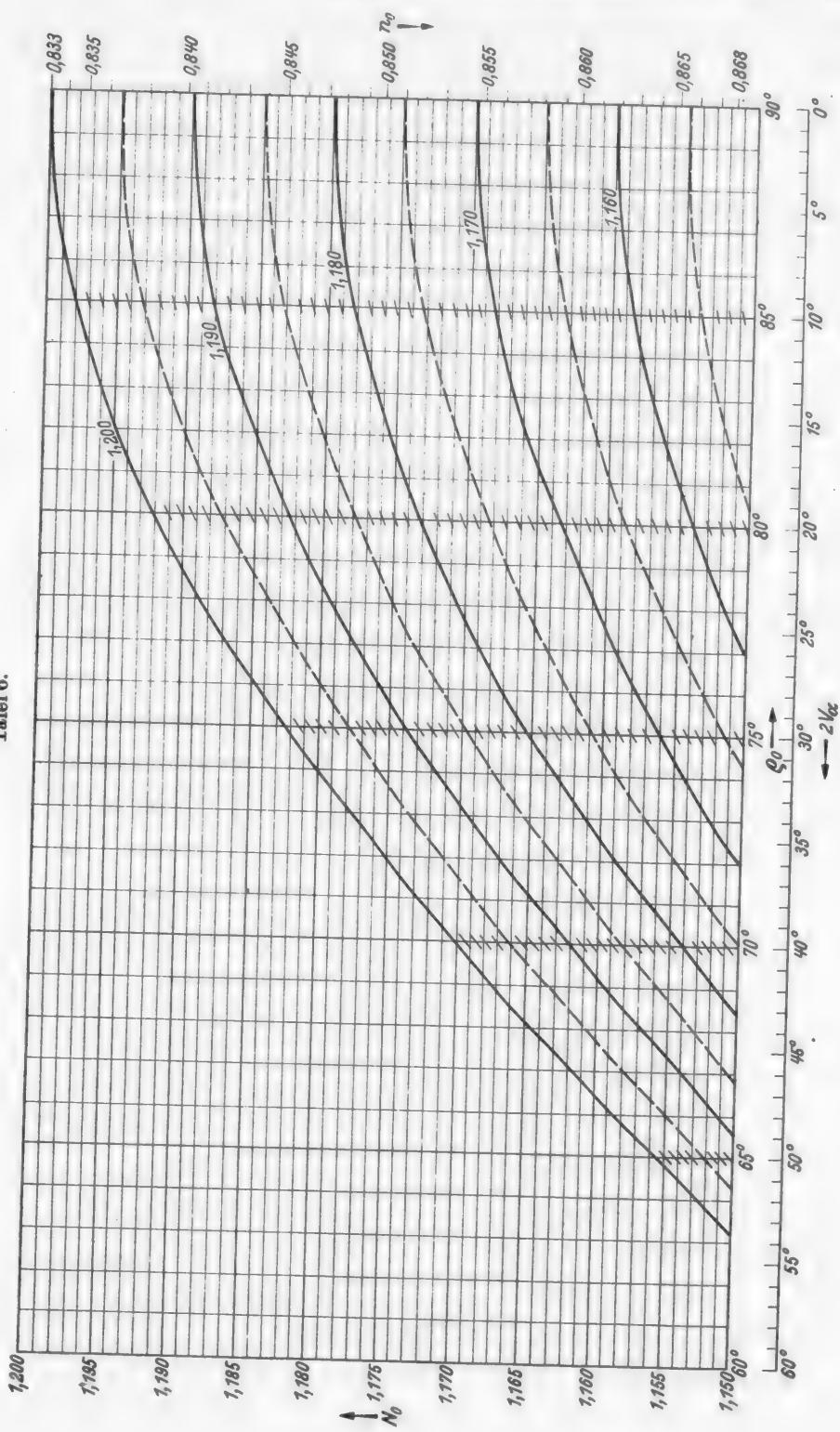
Tafel 5.



Nomogramm zur Bestimmung der veränderlichen Lichtbrechungsquotienten.

483

Tafel 6.



Von  $\varrho_0 = 80^\circ$  bis Kurve  $n_\beta/n_\alpha = 1,722/1,713 = 1,0052$  und liest an der Ordinate hierfür 1,0045 ab. Mit  $n_\alpha$  multipliziert ergibt  $Z = 1,722$ . Nun von  $\varrho_0 = \varphi = 62^\circ$  bis zur Kurve  $n_\gamma/Z = 1,729/1,722 = 1,0041$  und liest hierfür an der Ordinate 1,0032 ab. Mit  $Z$  multipliziert ergibt  $n_\gamma = ,727$ . Für  $n_\alpha'$  kommt nach gleicher Rechnung 1,714 heraus.

#### 6. Gesucht $n_\gamma$ in einem (00)-Epidotspaltblättchen.

Gegeben.  $n_\alpha = 1,720$ ,  $n_\beta = 1,7244$ ,  $n_\gamma = 1,7344$ , Auslösung  $n_\alpha/c = 0^\circ$ ,  $\beta = 115^\circ$ .

Ausführung. Die Spaltfläche (001) liegt in der Zone  $[n_\beta]$ . Dadurch tritt eine Vereinfachung ein. Man braucht weder die FRESNELSche Konstruktion noch über den Zwischenwert  $Z$  rechnen. Eine kurze Überlegung zeigt, daß der Winkel zwischen  $n_\gamma/(001)$  ( $180^\circ - \beta = 65^\circ$ ) beträgt. Nach Schema Aa) rechnet sich dann: Von  $\varrho_0 = 65^\circ$  bis Kurve  $n_\gamma/n_\alpha = 1,7344/1,720 = 1,0083$ . An der Ordinate dafür abgelesen 1,0068. Diesen Wert mit  $n_\alpha$  multipliziert ergibt 1,7317 daher  $n_\gamma = 1,732$ .  $n_\alpha' = n_\beta = 1,7244$ .

#### 7. Gesucht 2V für Gips.

Gegeben.  $n_\alpha = 1,5205$ ,  $n_\beta = 1,5226$ ,  $n_\gamma = 1,5296$ .

Ausführung. Nach Regel Bc): Von der Ordinate mit  $n_\beta/n_\alpha = 1,0014$  horizontal bis zum Schnitt mit Kurve  $n_\gamma/n_\alpha = 1,006$  ergibt an der 2V-Skala abgelesen optisch positiv,  $2V = 58^\circ$ .

Anschließend sei hier noch auf die Möglichkeit hingewiesen, aus der Messung zweier verschiedener  $n_\gamma$  in einem Hauptsnitt und des Achsenwinkels alle 3 Hauptbrechungsquotienten zu bestimmen. Dies hätte besonders für ihre Bestimmung in sehr stark lichtbrechenden Mineralen Bedeutung. Manbettet z. B. das Mineral in eine Schmelze, deren  $n$  einmal näher an  $n_\alpha$  und das andere Mal näher an  $n_\gamma$  liegt, ein und dreht dann das Präparat jedesmal am Drehtisch so weit bis  $n_{\text{Mineral}} = n_{\text{Schmelze}}$  ist und mißt gleichzeitig den Neigungswinkel von  $n_\gamma/n_\alpha$  ( $\varrho'$  und  $\varrho''$ ). Mit der etwas unhandlichen Formel

$$\frac{n_\gamma}{n_\alpha} = \sqrt{\left( \frac{n_\gamma^2 \sin^2 \varrho - n_{\gamma'}^2 \sin^2 \varrho'}{n_{\gamma'}^2 \cos^2 \varrho' - n_\gamma^2 \cos^2 \varrho} \right)^{-1}}$$

kann man das Verhältnis  $n_\gamma/n_\alpha$  berechnen. Nun läßt sich mittels des Nomogramms nach folgendem Schema  $n_\alpha$  und  $n_\gamma$  festlegen: Von  $\varrho_0 = \varrho'$  oder  $\varrho''$  bis zur Kurve  $n_\gamma/n_\alpha$  und liest an der Ordinate hierfür  $N_0$  ab

$$\boxed{n_\gamma/N_0 = n_\alpha} \quad \boxed{\frac{n_\gamma}{n_\alpha} n_\alpha = n_\gamma} .$$

$n_\beta$  berechnet sich nach dem entsprechend geändertem Schema Bb). Die Genauigkeit hängt ganz davon ab, wie genau es gelingt,  $\varrho$  und  $n_\gamma$  zu bestimmen. Eine experimentelle Überprüfung ergab, daß es sehr schwierig ist diese Werte mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, so daß das zu berechnende  $n_\gamma/n_\alpha$  für die weitere Rechnung genügt.

Zum Schluß sei noch auf einige Arbeiten hingewiesen, die ähnliche optische Aufgaben behandeln. So hat SALOMON [7] schon 1896 speziell für Quarz eine Kurve konstruiert, um damit  $\varepsilon'$  für die Feldspatbestimmung feststellen zu können. Diese Kurve kann auch sehr gut zur Dickenbestimmung von Dünnschliffen benutzt werden. RÖSCH und STÜRENBURG [5] haben ihren Kurven zur Achsenwinkelbestimmung ein praktisches Diagramm zur Reduktion der Brechungsquotienten ( $n_{\text{größer}}/n_{\text{kleiner}}$ ) beigegeben, das für überschlagsmäßige Rechnung gut verwendet werden kann. H. SCHUMANN [9] hat ein praktisches Nomogramm zur Bestimmung der Hauptdoppelbrechung einachsiger Minerale

<sup>1</sup> Durch Gleichsetzung von  $a b$  der Gleichung auf S. 471 erhalten.

aus der in beliebigen Schnitten gemessenen Doppelbrechung gegeben. Bei H. TERTSCH [11] findet sich ein Nomogramm zur Bestimmung eines Hauptbrechungsquotienten aus Doppelbrechungsmessungen und einem variablen Brechungsquotienten. Weiter geben 2 Nomogramme für die Hornblendegruppe die Beziehungen der Auslöschungsschiefe auf (010) und (110) und dem Achsenwinkel wieder. Einige andere Arbeiten sind noch im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Herrn Prof. CORRENS möchte ich für die Bereitstellung der Institutsmittel, sowie für das Interesse das er der Arbeit entgegenbrachte danken.

#### Literatur<sup>1</sup>.

- [1] GOLDSCHMIDT, V.: Krystallographische Winkeltabellen. Berlin 1897. — [2] LANE, J. H. JR. and H. T. U. SMITH: Graphic method of determining optic sign and true axial angle from refractive indices of biaxial minerals. Amer. Mineral. Bd. 23 (1938) S. 457. — [3] LOUPEKINE, I. S.: Graphical derivation of refractive index for the trigonal carbonates. Amer. Mineral. Bd. 32 (1947) S. 502. — [4] MARCHET, A.: Zur Kenntnis der Amphibolite des niederösterreichischen Waldviertels. Tschermaks Min. petr. Mitt. Bd. 36 (1924) S. 173. — [5] RÖSCH, S. u. M. STÜRENBURG: Ein Diagramm für optische Achsenwinkel. Z. Kristallogr. Bd. 65 (1927) S. 588. — [6] ROSENBUSCH, H. u. E. A. WÜLFING: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, Bd. 1, 1. Hälfte Untersuchungsmethoden. Stuttgart 1924. — [7] SALOMON, W.: Über die Berechnung des variablen Wertes der Lichtbrechung in beliebig orientierten Schnitten optisch einaxiger Mineralien von bekannter Licht- und Doppelbrechung. Z. Kristallogr. Bd. 26 (1896) S. 178. — [8] SCHRÖN, L.: Siebenstellige gemeine Logarithmen der Zahlen von 1—108000. Braunschweig 1910. — [9] SCHUMANN, H.: Die Bestimmung der maximalen Doppelbrechung einachsiger Minerale in schiefen Schnitten. Chem. d. Erde Bd. 13 (1940) S. 353. — [10] Die mikroskopische Unterscheidung von Mineralen der Karbonatgruppe. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. Bd. 1 (1948) S. 381. — [11] TERTSCH, H.: Zwei graphische Methoden zur Bestimmung optischer Werte an bestimmten Kristallflächen. Mineral. u. Petrogr. Mitt. Bd. 51 (1939) S. 163. — Zur graphischen Berechnung der Brechungsquotienten für eine beliebige Richtung eines doppelbrechenden Kristalles aus der optischen Indikatrix. Z. Kristallogr. Abt. A Bd. 104 (1942) S. 446.

<sup>1</sup> Anmerkung während der Korrektur: Herr MEHNERT machte mich freundlicherweise darauf aufmerksam, daß im Jahrg. 1945 der Schweiz. Mineral. u. Petrogr. Mitt. eine Arbeit erschienen sei, die ähnliche Zwecke verfolgt, wie die hier vorliegende. Es war mir leider bisher nicht möglich Einblick in die schweizerische Arbeit zu bekommen.

Aus dem Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Münster (Westf.).

## Über das Gleitvermögen der Glimmer.

Von

HANS SEIFERT.

Mit 12 Textabbildungen.

(Eingegangen am 18. Juni 1948.)

### Übersicht.

Nach kritischer Durchsicht der Meinungen über das Gleitvermögen der Glimmer wird die kristallstrukturelle Eignung aller Flächentypen, die die  $\text{SiO}_4$ -Tetraedernetze nach (001) queren, untersucht. Die Kriterien des Vermögens zu Gleitung wurden früher im Anschluß an durch SMEKAL gegebene Ansätze entwickelt [9, 10]. Es wird weitgehende Übereinstimmung des strukturgeométrischen Befundes mit den Beobachtungen über auf Gleitungen zurückführbare Absonderungsflächen gefunden. Hinsichtlich der sog. „Trennungsflächen“ ist das Ergebnis weniger eindeutig und befriedigend, Theorie und die allerdings spärlichen Beobachtungen stimmen wenig überein.

Es wird versucht, nachzuweisen, daß es sich bei den stabilen Strukturnetzen des Anionenbaugerüsts der schichtgitterartigen Strukturen zerreißenden Gleitvorgängen um mechanische Verzwilligung handelt im Gegensatz zu der weiter anerkannt bleibenden Translation mit Biegung nach der Schichtenebene selbst. Der Unterschied der Entstehung wird mit der Art der einwirkenden Kräfte in Beziehung gebracht. Das Naturvorkommen scheint mit der entwickelten Theorie in Übereinstimmung zu sein. Bei den Kettenstrukturen der Pyroxene ist die gleiche Zweideutigkeit von Bewegungsvorgängen vorhanden; die Analogie ist auffällig und stützt die dargelegte Anschauung. Das Verhalten amorpher Körper der Einwirkung äußerer Kräfte gegenüber zeigt den gleichen Gegensatz.

### I. Einleitung.

#### Problemstellung und kritische Bewertung vorliegender Beobachtungen.

Das von O. MÜGGE [5, 7] entworfene Bild des Gleitvermögens der Glimmer schien die befriedigendste Erklärung aller betrachteten Erscheinungen darzubieten und am besten im Einklang zu stehen mit deren feinbaulichen Blattstrukturen mit den zweidimensionalen Netzen ihres Anionenteilgerüsts.

Danach besitzen die Glimmer neben der vollkommenen Spaltbarkeit bekanntlich eine *Gleitfähigkeit nach der Schichtenebene* der Basis (001). Sie ist, verbunden mit Biegung, aus Beobachtungen an natürlichen Kristallen zu erschließen, experimentell in seltenen Fällen erzielt, als reine Translation nicht bekannt (O. MÜGGE [5]). Die Gleitung scheint wie bei manchen echten Schichtengittern in mehreren symmetrisch nicht gleichberechtigten Richtungen möglich. Aus den Beobachtungen sonderlich an den Schlag- und Druckfiguren wie auch der

Biegungsfigur auf (001) leitete O. MÜGGE (l. c.) als die im allgemeinen wahrscheinlichsten die symmetrisch nicht genau gleichen Richtungen der Schlagstrahlen  $\parallel [100]$ ,  $[110]$ ,  $[1\bar{1}0]$  ab, als bevorzugte Fältelungsrichtung  $f \perp t$  demgemäß die Richtungen der Strahlen der Druckfigur. Gewisse Beobachtungen schienen ihm dafür zu sprechen, daß aber auch diese letzteren Gleitrichtungen sein können.

Bei allen diesen Bewegungsvorgängen bleibt das besonders stabile Gittergerüst der Anionenschichten des Kristallbaus ungestört. Es lag um so weniger Grund vor, sich der eindringlichen Argumentation MÜGGEs, damals allein aus der Makrokristallographie ohne jegliches kristallstrukturelles Wissen gewonnen, zu entziehen.

Nun war neuerdings (W. SCHMIDT [8]) auf Grund petrotektonischer Erfahrungen und gefügeanalytischer Untersuchungen ein mindestens leichtes Gleitvermögen der Glimmer nach der Basis bezweifelt und auf steile Pyramiden verwiesen, die die Mineralogie als Gleitflächen längst kenne. In der Tat sind Absonderungen nach solchen Flächenstellungen früher unleugbar beobachtet und gemessen (M. BAUER [1], G. TSCHERMAK [14]).

Hierzu muß zunächst ergänzend bemerkt werden, daß SCHMIDT einen möglichen Unterschied im Charakter der Gleitflächen unberücksichtigt ließ. Nach Ansicht der älteren Beobachter hatte die mechanische Beanspruchung der Glimmerkristalle zur Gleitverzwilligung geführt, und es war schließlich zur Absonderung nach den Gleitflächen gekommen. Es mag in Erinnerung gebracht werden, daß wie bei manchen anderen Kristallarten (Cyanit, Baryt) O. MÜGGE auf Grund seiner Feinanalyse der Erscheinungen die häufig neben und statt Verbiegungen auftretenden scharfen Knicke und die Knickflächen mit großer Wahrscheinlichkeit als für mechanische Zwillingsbildung nicht stichhaltige Belege ablehnen konnte. Auch die wechselnde Lage der Knickungsflächen und jener Absonderungen sowie ihre zum Teil komplizierte Indizierung ließ sie nach allgemeiner Erfahrung als Zwillingsflächen sämtlich recht unwahrscheinlich erscheinen. Es ist MÜGGE zuzugeben, daß man bei möglicher Zwillingsbildung an Glimmern in gepreßten Gesteinen häufig scharf begrenzte Lamellen zu finden erwartet, jedenfalls nach landläufiger Meinung. Das ist nicht der Fall, und so konnte man wohl auch darin ein Argument gegen Verzwilligung sehen. Es ist vielmehr das Bild der Erscheinungen fast ausschließlich beschränkt auf die Verbiegungen und die gekennzeichneten Knickungen.

Der fasrige Charakter der Knick- und Absonderungsflächen — man denke vergleichsweise an Gips — erschien dann einfach bedingt durch das Wechselspiel der Vollkommenheit der Spaltung nach (001), „einer wenig deutlichen Spaltung nach ihnen selbst“ und der angenommenen Gleitfähigkeit in (001).

Ein Charakter möglicher „Trennungsflächen“ schräg zur Basis wurde also im Grunde von O. MÜGGE nicht geleugnet, aber als eine schlechte Spaltung gedeutet. Dies muß uns heute auf Grund der Kenntnis der Struktur wohl zunächst merkwürdig, vielleicht gar widerspruchsvoll erscheinen. Das ist das erste Ergebnis einer kritischen Überlegung, das eine nähere Untersuchung nicht als überflüssig erscheinen läßt.

Man findet übrigens mehrfach im Schrifttum „Trennungsflächen“ angegeben. Das geht wohl auf die Angaben von G. TSCHERMAK [14] zurück, der, auf

ähnlichen Erfahrungen wie REUSCH und BAUER fußend, goniometrische Messungen an derartigen freigelegten Flächen nach Erzeugung der Schlagfigur ausführte. Als solche erschienen ihm (010) und, aus den Zonen der anderen Schlagstrahlen, am vollkommensten  $(111)_D = (111)_T$ , ziemlich vollkommen  $(114)_D = (337)_T$ , schwach noch  $(112)_D = (335)_T$  und  $(111)_D = (331)_T$ .<sup>1</sup>

Soll man nach dem Vorgang von O. MÜGGE die *Schlagfigur* der Glimmer in Analogie zu den einfacheren und eindeutigen Verhältnissen beim Steinsalz deuten, so müssen die Schlagstrahlen „Reißflächen“ anzeigen. Als solche bieten sich diejenigen Strukturflächen an, denen die Fähigkeit zur Teilbarkeit — nach einer solchen Annahme — zukommt. Es müßten die obigen von TSCHERMAK angegebenen sein. Es ist dann wohl bemerkenswert, daß solche außer (010) nicht senkrecht auf (001) stehen, sondern schräg dazu, überdies mit verschiedenartiger Neigung liegen. Aber das könnte vielleicht durch die niedrigere Symmetrie erklärt werden.

Hier ergibt sich ein bisher anscheinend nicht bemerkter Widerspruch. Bedeutete doch die vorherige Aussage, daß die Reißflächen in den Zonen der MÜGGESchen Gleitrichtungen liegen. Erwarten müßte man doch aber, daß sie in den Symmetralen der symmetrisch quasi gleichen Gleitrichtungen liegen. Beobachtet man die Schlagfigur, hieße das also, daß die *t* repräsentiert sein sollen durch die Druckstrahlen. Strukturell gesehen, erschien das wegen der Gitterdaten (Muskovit)

$$d_{100} = a_0 = 5,18 \text{ Å} \quad \text{und} \quad d_{010} = b_0 = 9,02 \text{ Å}$$

allerdings gerade unwahrscheinlicher als die andere Möglichkeit, die Umkehrung der Richtungen nach ihrer Bedeutung. Bei O. MÜGGE [5] findet man zwar auch — vgl. oben — den ausdrücklichen Hinweis, daß die Richtungen der Druckfigurstrahlen wohl auch als Gleitrichtungen fungieren können; er schloß das aus der experimentellen Erfahrung, daß man sehr dünne, nach diesen Richtungen gestreckte Fasern sehr stark torquieren kann. Man hat aber nicht den Eindruck, daß gerade bei der Entstehung der Schlagfigur an diese Richtungen als in Funktion tretende *t* gedacht war. Die spätere Darstellung in [7] läßt das etwas unbestimmter, ist aber auch nicht frei von weiteren Widersprüchen!

Die bei besonders guten Schlagfiguren auftretenden zarten konzentrischen Hexagone um das zentrale Einstichloch fehlen bemerkenswerterweise nur dann, wenn es gelingt (O. MÜGGE), die Figur hervorzu bringen, ohne daß die Nadel merklich in das Spaltblättchen eindringt, d. h. also, ohne daß im MÜGGESchen Sinne merklich gleitende Ausweichbewegungen vor sich gegangen sind. Diese Linien aber wiederum in Analogie zum Steinsalz als die sichtbaren Schichtenköpfe von Gleitpaketen zu deuten, geht bei der MÜGGESchen Annahme nicht

<sup>1</sup> In der Indizierung der Aufstellung nach DANA mit

$$a : b : c \sim 0,57735 : 1 : 3,2743, \quad \beta = 90^\circ 0'$$

und der späteren Aufstellung nach TSCHERMAK mit

$$a : b : c \sim 0,5743 : 1 : 2,217, \quad \beta = 95^\circ 30',$$

für welche die Transformation maßgebend ist

$$(hkl)_D \rightarrow (HKL)_T \quad \text{mit} \quad H : K : L = (-h) : k : \frac{1}{3}(2l + h).$$

Die genannten Trennungsflächen sind charakterisiert durch die in der Tabelle 1 unten verzeichneten Winkel gegen die Basis.

an, und man bedarf hier der zusätzlichen Annahme latenter Teilbarkeiten, die MÜGGE ja auch nicht ablehnte, irgendwie geneigt zur Hauptspaltbarkeit in den Zonen [100], [110], [110].

Sehr zweckmäßig für den Überblick des Zusammenhangs der Teilerscheinungen und als Ausgangsquelle zu Überlegungen erscheint die *Biegsungsfigur*. MÜGGE deutete aus ihr gedanklich die Schlagfigur durch Aufreißen nach ihren Symmetralen. Diese entsteht auch dann praktisch aus ihr, wenn man nach Herstellung der Biegsungsfigur noch stark weiterpreßt, während die Druckfigur entsteht, wenn der Druck, mit stumpfem Instrument ausgeführt, sogleich zu schnell oder zu stark gesteigert war. Die Druckfigur aus der Biegsungsfigur durch deren Aufreißen abzuleiten, wie MÜGGE das ausspricht, erscheint mir widerspruchsvoll und nicht angängig.

Insgesamt ergibt sich zusammenfassend aus den bisherigen Betrachtungen, daß Strukturflächen, die irgendwie die Schichtenebene der Glimmerblattstrukturen queren, als mögliche Teilbarkeitsflächen allgemein nicht abgelehnt, höchstens in ihrer Bedeutung verschieden bewertet werden. Und nun soll nach W. SCHMIDT sogar generell die Basisgleitung ihres Wertes entkleidet, und Gleitungen vornehmlich nach solchen Strukturflächen sollen gittereigentümlich sein. Es ist dies angesichts eines derartigen Feinbaus grundsätzlich befremdlich und bedarf der Klärung. Denn es erscheint der theoretischen Erwartung zuwider, daß eine *Zerreißung der Ebenennetze des  $[Si_2O_5]_n$ -Gerüsts* bevorzugt und leichter vor sich gehen solle, als eine Trennung dieser Schichten voneinander bzw. von den zwischengelagerten Kationen durch einfache ihnen parallele Verschiebungen. Daß die Basisgleitung erst unter sehr viel höheren Beanspruchungen möglich sein soll, indem sie im wesentlichen nur in Metamorphiten der tiefsten Zone beobachtet sei, erscheint zunächst geradezu als eine Umkehrung theoretisch zu erwartender Tatbestände.

Es erschien aussichtsreich, nach der seit einiger Zeit begonnenen Methode [9, 10] den gittegeométrischen Charakter der vorgeblichen Trennungs-, Spalt- und Gleitflächen vergleichend mit anderen Strukturflächen zu untersuchen. Es war festzustellen, ob die angegebenen Flächen die Kriterien erfüllen, die diese Methode, weiterentwickelt aus dem Inhalt der SMEKALSchen Leitsätze [12] über Gleitmechanismen und diese verfeinernd, aufgefunden hat. Das im folgenden dargelegte Ergebnis rechtfertigt den Versuch. Es war immerhin bemerkenswert genug, festgehalten zu werden.

## II. Strukturgeométrische Prüfung.

Ausgangspunkt der Überlegungen und Rechnungen war die von W. W. JACKSON und J. WEST [4] für den Muskovit angegebene monoklin-holoedrische Struktur, übereinstimmend mit der Aufstellung TSCHERMAKS, die aber nach den Untersuchungen von ST. B. HENDRICKS und M. E. JEFFERSON [3] kaum noch als die „normale“ Glimmerstruktur angesehen werden kann. Die von den Erstgenannten angegebenen Atompositionen wurden verwendet<sup>1</sup>; für Biotite anwendbar sind sie dadurch, daß die Al in ihren Positionen durch Mg ersetzt und

<sup>1</sup> S. B. II, 143. — Um Raum zu sparen, ist von einer wiederholenden Aufzählung abgesehen.

zusätzlich 4 Mg in den Positionen (*d*) der Raumgruppe  $C_{2h}\cdot C\ 2/c$  (Intern. Tabelle) eingefügt werden. Nach HENDRICKS-JEFFERSON scheint auf Grund der beobachteten Röntgeninterferenzen gerade diese „Idealstruktur“ mehr für die biotitartigen Glimmer als für Muskovite zu passen, die eine beträchtlichere Abweichung von den Atompositionen von JACKSON-WEST aufweisen sollen, die bisher in keinem Einzelfall errechnet ist.

Die folgende Tabelle 1 enthält zunächst eine Zusammenstellung der zu untersuchenden Strukturflächen.

Tabelle 1. *Angeblich ausgezeichnete Strukturflächen der Glimmer.*

Aufstellung KOKSCHAROW (C. HINTZE)	Aufstellung DANA (NIGGLI)	Aufstellung TSCHERMACK (JACKSON- WEST)	Aufstellung HENDRICKS- JEFFERSON	Winkel $hkl: 001$	Aufstellung KOKSCHAROW (C. HINTZE)	Aufstellung DANA (NIGGLI)	Aufstellung TSCHERMACK (JACKSON- WEST)	Aufstellung HENDRICKS- JEFFERSON	Winkel $hkl: 001$
I. „Gleitflächen“					II. „Trennungsflächen“				
{ $\zeta$ 265	135	133	132	66° 19'	010	010	010	90° 0'	
{ $\varrho$ 405	205	102	201		221	111	111	81° 22 $\frac{1}{2}$ '	
{ $\sigma$ 102	104	103	101		112	114	337	58° 42 $\frac{1}{2}$ '	
{ $\zeta'$ 102	104	307	305	54° 46'	111	112	335	73° 5 $\frac{1}{4}$ '	
132	134	133	131	70° 41'	221	111	131	332	81° 22 $\frac{1}{2}$ '
					?	111	112 <sup>1</sup>	111	73° 5 $\frac{1}{4}$ '
					?	112	114 <sup>1</sup>	113	58° 42 $\frac{1}{2}$ '

### a) Zweischichtenstruktur (JACKSON-WEST).

Der Massenebenensatz der angeblichen *Gleitfläche* (133) = (135)<sub>D</sub> zeichnet sich dadurch aus (Abb. 1<sup>2</sup> und Tabelle 2<sup>3</sup>), daß

1. eine relativ geringe Zahl von Massenebenen mit entsprechend relativ großem Abstand  $\Delta \varrho$  vorliegt,

2. die einzelnen Massenebenen dabei stark besetzt sind,

<sup>1</sup> Wegen der Unsicherheit der richtigen Aufstellung der Kristalle bzw. der Gleichsetzung der Formen in den Aufstellungen KOKSCHAROWS und DANAS werden zum Teil die positiven und die negativen Hemipyramiden gleicher Neigung gegen die Basis (mit gleichen Indizes bei der Aufstellung DANAS,  $\beta \sim 90^\circ$ ) unbewertet nebeneinander genannt. Strukturelle Betrachtungen können unter Umständen — vgl. später — zu einer Entscheidung über die Bedeutung einer Form führen.

Auch JACKSON-WEST (l. c.) behaupten eine Transformation auf Grund konform laufender Achsen: DANAS „kristallographische“ Aufstellung ( $hkl$ ) → ihre röntgenographische Aufstellung ( $HKL$ ) mit  $h:k:l = (+H):K:\frac{1}{2}(H+3L)$ .

<sup>2</sup> Zur Erläuterung der Abbildungen mag vielleicht folgendes in Erinnerung gebracht werden. Sie geben maßstabsgerecht Abstände und die Belastungen der Ebenen der Serie an. Die Ordinaten geben die Belastungen proportional den Atomgewichten in willkürlicher Einheit, nach oben der Kationen (gefüllte Kreise), nach unten der Anionen, aufgeteilt in Zentralatome (gefüllte Kreise), der  $\text{SiO}_4$ -Komplexe und Liganden (leere Kreise) sowie ( $\text{OH}$ ) (leere Kreise mit Kreuz).

<sup>3</sup> Die Aufstellung der Massenebenenserien geschieht nach folgendem einfachen Verfahren. Man löse die gegebene Struktur auf in ihre Teilgitter  $\Gamma_i$ . Es sind die Koordinaten irgend eines Punktes  $P_i$  von  $\Gamma_i$

$$x = \left( \frac{\varrho_x}{\varrho_a} + r_x \right) a, \quad y = \left( \frac{\varrho_y}{\varrho_b} + r_y \right) b, \quad z = \left( \frac{\varrho_z}{\varrho_c} + r_z \right) c,$$

(wo die  $\varrho$  mit beliebiger Annäherung bestimmbar, ganze rationale Zahlen darstellen, und  $\varrho_x/\varrho_a$ ,  $\varrho_y/\varrho_b$ ,  $\varrho_z/\varrho_c$  die Indizes des Verschiebungsvektors von  $\Gamma_i$  gegen das Ursprungsgitter  $\Gamma_0$  und  $r_x$ ,  $r_y$ ,  $r_z$  positive oder negative ganze Zahlen einschließlich Null sind). Dann liegt

3. vor allem die Kationen, und zwar die K-Ionen, aber auch die Al, je für sich in einer einzigen Ebenenschicht der Serie abgesondert und durch besonders weite Abstände von den Anionen getrennt sind. Das sind aber gerade die Bedingungen, die als geeignete strukturelle Kriterien für die Möglichkeit von Gleitungen bisher erkannt waren [9, 10].

Es leuchtet wohl ohne weiteres ein, daß Tabelle und Abbildung hier eine völlig isolierte Kationenschicht in dem Sinne nur vortäuschen, daß sie beiderseitig nur durch heteropolare Kräfte an die Nachbarmassen dieser Schichtebenenfolge geknüpft sei, d. h. also so, wie es den Schichtenbau der Glimmer nach ihrer Basis de facto

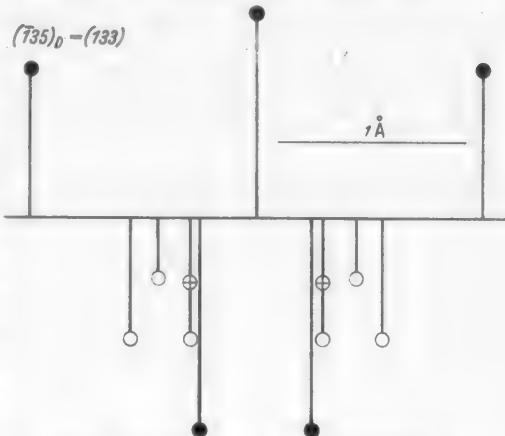


Abb. 1. Belastung der Massenebenenserie von  
 $(135)_D = (133)$  in der Zweischichtenstruktur.

Tabelle 2. *Muskovit. Massenebenensatz nach (133).*

Nr.	$\epsilon$	Belastung durch Teilgitter	$\Delta \varrho$	$\frac{\Delta \varrho}{\varrho}$ in $\frac{\text{A}}{\varrho = 1 \sim 2,38 \text{ A}}$
1	0	4 K (+ 2Mg)	0,220	0,524
2	0,220	4 O <sub>III</sub> , 2 O <sub>IV</sub> , 2 O <sub>V</sub>	0,060	0,143
3	0,280	2 O <sub>IV</sub> , 2 O <sub>V</sub>	0,074	0,176
4	0,354	4 O <sub>I</sub> , 4 O <sub>II</sub> , 4 (OH)	(0,021)	
	0,375	4 Si <sub>I</sub> + 4 Si <sub>II</sub>	0,125	0,298
5	0,500	8 Al (+ 2Mg)	0,125	0,298
6	0,625	4 Si <sub>I</sub> + 4 Si <sub>II</sub>	(0,021)	
	0,646	4 O <sub>I</sub> , 4 O <sub>II</sub> , 4 (OH)	0,074	0,176
7	0,720	2 O <sub>IV</sub> , 2 O <sub>V</sub>	0,060	0,143
8	0,780	4 O <sub>III</sub> , 2 O <sub>IV</sub> , 2 O <sub>V</sub>	0,220	0,524
1'	1,000	4 K (+ 2Mg)		

irgendein Punkt  $P_i$  von  $\Gamma_i$  in der Gitterebene  $(h/\varrho, k/\varrho, l/\varrho)$  von  $\Gamma_0$ , wenn

$$h \left( \frac{\varrho_x}{\varrho_a} + r_x \right) + k \left( \frac{\varrho_y}{\varrho_b} + r_y \right) + l \left( \frac{\varrho_z}{\varrho_c} + r_z \right) = 0$$

oder nach Umformung

$$\frac{h \varrho_x}{\varrho_a} + \frac{k \varrho_y}{\varrho_b} + \frac{l \varrho_z}{\varrho_c} = \varrho - (h r_x + k r_y + l r_z).$$

Es sei dann immer der dem Ursprung zunächst liegende Punkt  $P_i$  jedes Teilgitters  $\Gamma_i$  gesetzt ( $r_x = r_y = r_z = 0$ ). Zweckmäßigerverweise werden zentrierte Gitter dabei wie ineinander gestellte einfache behandelt und also die besetzten Punkte  $P_i$  gesondert gezählt.

In diesem Sinne enthält die Glimmerstruktur nach JACKSON-WEST die folgenden Teilgitter  $\Gamma_i$ : 4 K, 8 Al, 8 Si<sub>I</sub>, 8 Si<sub>II</sub>, 8 (OH), 8 O<sub>I</sub>, 8 O<sub>II</sub>, 8 O<sub>III</sub>, 8 O<sub>IV</sub>, 8 O<sub>V</sub>.

charakterisiert. Das kann hier nicht der Fall sein. Denn die einzelnen O<sup>2-</sup>-Ionen gehören ja zu  $\frac{3}{4}$  ihres Bestandes stets zwei SiO<sub>4</sub>-Tetraedern zugleich an, und die silikatischen Netze werden auf jeden Fall hier irgendwie derart zerschnitten, daß bestimmte O<sup>2-</sup> von einem ihrer beiden Zentralatome getrennt werden.

Man kann sich in dieser Hinsicht folgendes überlegen: Das Netz der SiO<sub>4</sub>-Tetraeder einer Schicht nach (001) ist bei den Glimmern so beschaffen, daß an jeder beliebigen Linie ein || [310] geführter Schnitt auf die Länge des doppelten Parameters  $2d_{[310]} = 17,98 \text{ \AA}$  je 4 Bindungen Si-O zerschneidet<sup>1</sup>. Die Neigung dieser „Bindungsrichtungen“ gegen die Zonenachse beträgt in ihrer Projektion auf (001) 60°. Dies gilt für jede anionische Schicht, so daß beispielsweise je Gittermasche des Prismas (130) über dieser Länge 16 solcher Bindungen betroffen sind, da 4 derartige Schichten auf die Zellenhöhe  $c$  entfallen. Es hängt das geometrisch damit zusammen, daß jeweils eine parallel der Basis gelegene Seitenkante der SiO<sub>4</sub>-Tetraeder praktisch senkrecht zu den Richtungen [310] gelegen ist.

Die Schnittlänge einer solchen Gittermasche einer jeden Strukturfläche ( $h \cdot 3h \cdot l$ ) beträgt in (001) die gleiche Strecke  $2d_{[310]}$ . Jedoch ist sichtlich die Anzahl durchschnittener SiO<sub>4</sub>-Tetraeder-Niveaus verschieden, da die Höhe  $nc = hc$ , erforderlich, um diese Gittermasche zu bilden, sich unterschiedlich gestaltet. Eine solche Gittermasche wird errichtet über den Gitterpunkten (eines Teilgitters  $\Gamma_1$ ) {0, 0, 0}, {3, 1, 0} und  $\left\{-\frac{l}{h}, 0, 1\right\} = \{-l, 0, h\}$ . Beispielsweise baut sich die Masche von (261) auf über {0, 0, 0}, {3, 1, 0} und {1, 0, 2}; hier wird  $n = 2$ . Für (392) ergäbe sich als dritter (variabler) Gitterpunkt {2, 0, 3} mit  $n = 3$ , usw.

Es ist ein naheliegender Gedanke anzunehmen, daß als vierte und mindestens mit der dritten der obigen gleich wichtige Forderung für die besondere Eignung einer Strukturfläche zu Gleitung die gilt, daß ein Minimum an Bindungen Si-O nur zerrissen zu werden braucht. Die vorangehende kurze Überlegung zeigt schon, daß die Verhältnisse so einfach nicht liegen. Alle Gittermaschen der Strukturebenen ( $h \cdot 3h \cdot l$ ) mit gleichem  $n$ -Wert haben die gleiche Zahl zerrißener Bindungen, 16 für  $n = 1$ , 32 für  $n = 2$  usw. Welche sollte ausgezeichnet sein?

Es kann hier offenbar nur ein Prinzip des Optimums der Wirkung gelten. Zwei gegensinnig wirkende Einflüsse sind erkennbar: Einmal nimmt mit wachsendem Wert  $J$  einer Gittermasche die Zahl  $z$  zerrißener Bindungen je Å<sup>2</sup> (als Flächeneinheit) ab, d. h. also mit wachsenden Indizes und immer komplizierterem Indextripel; zum anderen nimmt aber in gleicher Richtung der Wert  $d_{h \cdot 3h \cdot l}$  ( $\varrho = 1$ ) ständig ab und wirkt den vorher formulierten, als wichtig erkannten Faktoren entgegen. Es wird sich demnach ein günstiges Optimum an einer bestimmten Stelle der Komplexität des Indextripels einstellen. An welcher Stelle dieses Optimum liegt, entnimmt man versuchsweise zunächst der Erfahrung. Es wird sich im Verlaufe der Untersuchung dann nur herausstellen, daß die befriedigende Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung für die Wahrscheinlichkeit der dargelegten Gedanken spricht.

<sup>1</sup> Wir sehen auch hier davon ab, daß die wahre Zelle der Struktur basiszentriert ist — vgl. Anmerkung 3 auf S. 490 —, indem eine jede Punktlage gesondert gezählt ist.

Eine Statistik zeigt übrigens schnell, daß jede Zone dabei ihren charakteristischen Gang besitzt und daß im ganzen der Gang von  $z$  ein sehr langsamer ist. Man würde auch hieraus wohl nur schließen dürfen, daß überhaupt dieser Einfluß von erstaunlich untergeordneter Bedeutung ist.

Für die Gleitfläche (133) speziell scheint dazu die geometrische Tatsache bedeutungsvoll zu sein, daß sie diejenige Strukturfläche ist, die eine immerhin recht ähnliche Neigung gegen die Basis wie die Seitenflächen der Sauerstofftetraeder besitzt; ist doch

$$\begin{aligned} \text{für ein reguläres Tetraeder } & 111:111 = 70^\circ 31' 52'', \\ \text{für den Muskovit} & 001:133 = 66^\circ 19'. \end{aligned}$$

Die Durchmusterung der Zone [310], die zum Vergleich vom Prisma (130) an mit abnehmender Steilheit durch eine große Zahl von Flächenarten wie (131), (261) usw. durchgeführt wurde, zeigte nur ungünstigere Massenverteilungen in den entsprechenden Ebenensätzen. Hier und da ist dennoch ein relativ günstiges, ein abgeschwächtes Bild nach dem Muster des vorher beschriebenen erkennbar, wenn man mit den Strukturflächen in den Zonen [110] und [100] auch solche gleicher Neigung gegen (001) vergleicht, wo, abgesehen von den später zu diskutierenden „Trennungsflächen“ der Tabelle 1, alle Proben mit mehr oder weniger stark „verschmierten“ Massenebenensätzen völlig negativ verlaufen.

Ausgesprochen gleich günstige Verhältnisse bietet tatsächlich wiederum, wie hier nur das Belastungsbild der Abb. 2 zeigen möge, die gelegentlich für Biotite und Phlogopite genannte Gleitfläche (133) = (134)<sub>D</sub> mit dem charakteristischen Winkel (001):(133) = 70° 41'. Die Isolierung der Kationen ist noch ausgesprochener (mit  $\Delta q \sim 0,58 \text{ \AA}$  bei  $q = 1 \sim 2,46 \text{ \AA}$ ), insofern die K und die Al in einem Niveau vereinigt sind, die Verschmierung des Sauerstoffbestandes im Zwischengebiet wenig stärker ist.

Bemerkenswert wie die Zone [310] ist dann wieder die Zone [010], die Richtung des 3. Strahls der Druckfigur auf der Basis, gleichfalls senkrecht zu einer Seitenkante des Ligamentetraeders. TSCHERMAK's Gleitfläche (102):(205)<sub>D</sub>, vornehmlich für Muskovit genannt, mit der ähnlichen Neigung (001):(102) = 67° 4' 8'' erscheint nach ihrem Aufbau, ganz ähnlich der zugeordneten (133), für ein Gleiten wohl ganz gut geeignet: gut isolierten Kationen (mit  $\Delta q \sim 0,24 \text{ \AA}$  bei  $q = 1 \sim 2,385 \text{ \AA}$ ) steht ein etwas mehr verschmiertes Restpaket des Ionenbestandes gegenüber, in dem noch wieder die Al, doch abgeschwächt, isoliert heraustreten (Abb. 3). Auf die Darstellung in Tabellenform

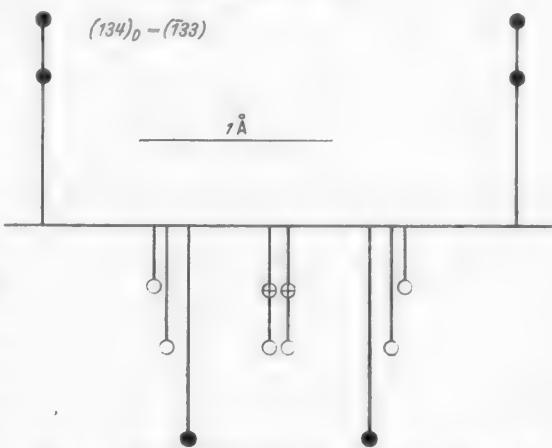


Abb. 2. Massenebenensatz von (134)<sub>D</sub> - (133) in der Zweischichtenstruktur.

sei verzichtet. — Die gegenständige Form (102) zeigt nur eine völlige Verschmierung des zugehörigen Massenebenensatzes.

Es muß erwähnt werden, daß bei Biotiten mit Zweischichtenstruktur die zusätzlichen Metallionen (Mg) in ausgezeichneter Weise in die gekennzeichneten isolierten Kationenschichten, bei (I02) nur in die der Al (Mg), nicht in die der

K, gleichfalls zu liegen kommen. Eine Neigung zur Gleitflächenbildung, sofern man der Ansicht zustimmt, daß das Hauptmoment in dieser Tatsache liegt, erscheint dadurch nur mehr begünstigt.

Es wurden auch, wegen der bereits vermerkten Unsicherheit in der Aufstellung der Glimmerkristalle, die gegenständigen Strukturflächen der im Schrifttum angegebenen geprüft.  $(205)_D = (304)$  zeigt eine durchaus verschmierte Massenebenenfolge. Weniger durchsichtig sind die Verhältnisse bei  $(134)_D = (397)$ , die eine ausgezeichnete Massierung sämtlicher Kationen in einem Niveau zeigt, das aber offenbar nur einen nicht ausreichend großen wirksamen Abstand von der nächsten, sogar je 8 Si enthaltenden Strukturebene des anionischen Schichtpaketes (nämlich nur  $0,1 \varrho = 0,08 \text{ \AA}$ ) bei einem im ganzen zu geringen Wert von  $\varrho$ , des Abstandes identischer Ebenen, besitzt (Abbildung 4).

Noch aufschlußreicher in der Hinsicht erscheint das Studium der Massenebenenserie von  $(135)_D = (3 \cdot 9 \cdot 11)$ . Diese Fläche hat trotz ihrer komplizierten Indizes (in wahrer Aufstellung) eine an Zahl recht geringe Folge. Aber die in Abb. 5 der einzelnen Abstände zeigt

Abb. 3. Belastung der Massenebenenserie von  $(205)_D = (102)$  in der Zweischichtenstruktur.

genständigen Strukturflächen der im Schrifttum angegebenen geprüft.  $(205)_D = (304)$  zeigt eine durchaus verschmierte Massenebenenfolge. Weniger durchsichtig sind die Verhältnisse bei  $(134)_D = (397)$ , die eine ausgezeichnete Massierung sämtlicher Kationen in einem Niveau zeigt, das aber offenbar nur einen nicht ausreichend großen wirksamen Abstand von der nächsten, sogar je 8 Si enthaltenden Strukturebene des anionischen Schichtpaketes (nämlich nur  $0,1 \varrho = 0,08 \text{ \AA}$ ) bei einem im ganzen zu geringen Wert von  $\varrho$ , des Abstandes identischer Ebenen, besitzt (Abbildung 4). Noch aufschlußreicher in der Hinsicht erscheint das Studium der Massenebenenserie von  $(135)_D = (3 \cdot 9 \cdot 11)$ . Diese Fläche hat trotz ihrer komplizierten Indizes (in wahrer Aufstellung) eine an Zahl recht geringe Folge. Aber die in Abb. 5

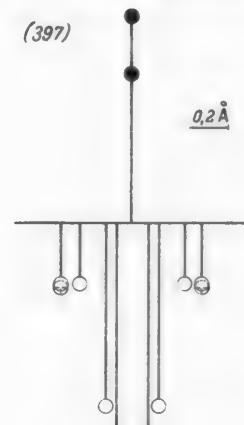


Abb. 3. Belastung der Massenebenenserie von  $(205)_D = (102)$  in der Zweischichtenstruktur.

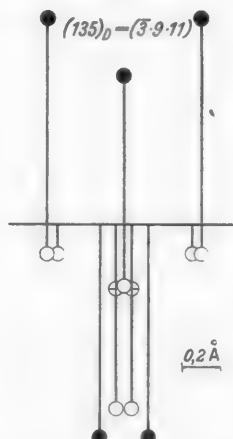


Abb. 4. Belastungsbild von  $(134)_D = (397)$  in der Zweischichtenstruktur.

sichtbare Verteilung des Ionenbestandes und offenbar, daß diese Strukturfläche für Gleitungen deshalb trotzdem ungeeignet ist, weil das wirksamste Prinzip, das der genügend weit abständigen isolierten Kationenschichten, nicht erfüllt ist. Damit ist dann zugleich festgestellt, daß die Kristalle mit sichtbaren Gleitflächen „richtig“ aufgestellt waren.

Für eine Gleitfähigkeit nach  $(104)_D = (103)$  sprechen die strukturellen Kriterien wenig. Auf den zwar ziemlich großen Identitätsabstand einer Ebenenfolge von  $d = 4,278 \text{ \AA}$  verteilt sich der Elementbestand derart, daß auf 2 Niveaus

aufgeteilt, die Kationen, je  $2K + 4Al$ , dabei auch die eventuell zusätzlichen  $Mg$ , stark eingehüllt sind, während einige relativ weite Abstände an unmaßgeblicher anderer Stelle auftreten (Abb. 6).

Auch die Gegenstellung  $(104)_D = (307)$  erweist sich bei geringem  $\varrho =$  Wert von nur  $1,41 \text{ \AA}$  als ungeeignet. Der zwar vorhandenen Isolierung der Kationen in 2 Niveaus mit je  $2K + 4Al$  ( $+ 2Mg$ ) gesellen sich nicht die erforderlichen weiten Abstände  $\Delta\varrho$  von den angrenzenden Massenebenen hinzu.

Andere Proben in der Zone  $[010]$ , darunter beispielsweise  $(103)$  und  $(307)$ , waren gleich ergebnislos wie vorher in  $[310]$ .

Wie ist es denn aber mit der Zahl  $z$  zerrissener Bindungen Si-O für diese Strukturflächen  $(h0l)$ ? Wegen der pseudohexagonalen Symmetrie in  $(001)$  sind grundsätzlich die Verhältnisse für die Zone  $[010]$  die gleichen wie vorher.

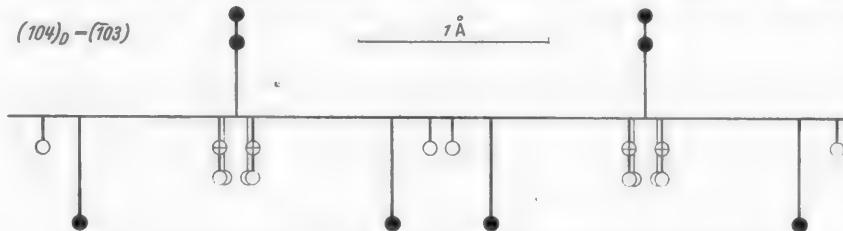


Abb. 6. Massenebenensatz von  $(104)_D = (103)$  in der Zweischichtenstruktur.

Auf die der früheren analoge Schnittlänge  $2b = 2d_{010} = 18,04 \text{ \AA}$  sind es in jedem Falle je  $SiO_4$ -Tetraederschicht wieder 4 Bindungen, unter  $60^\circ$  in der Projektion auf  $(001)$  gegen die Zonenachse geneigt. Zwar baut sich eine primitive Gittermasche analog auch hier schon auf über 3 Punkten  $[[0, 0, 0]]$ ,  $[[0, 1, 0]]$ ,  $[[-\frac{l}{h}, 0, 1]] = [[-1, 0, h]]$ . Doch rechnen wir auch hier mit der doppelten Flächengröße. Die Zahl  $z$  je  $\text{\AA}^2$  ist natürlich die gleiche.

Das Versagen der gegenständigen Form, die in dieser Beziehung gleiche Bedingungen vorfindet, zeigt nun hier aber besonders deutlich an, daß in dem Modus zerrissener Si-O-Bindungen keineswegs ein wirksames Hauptprinzip gesehen werden und daß es in dem erläuterten Sinne nur zu einem Optimum mit verhelfen kann. Die Kristallart ist eben mit der wahren Zelle der Zweischichtenstruktur doch deutlich monoklin und nur in gewisser Hinsicht pseudohexagonal.

Die „Trennungsflächen“ — um auch das Problem dieser reichlich ungeklärten Flächen auf struktureller Grundlage zu prüfen — bieten insgesamt ein weniger deutliches Bild.

In einer 1. Gruppe verteilt sich der Ionenbestand in der jeweiligen Massenebenenserie auf einen ziemlich großen Abstand ( $\varrho = 1$ ) identischer Ebenen. Es sind

$$(112)_D = (111) \text{ mit } d = 4,292 \text{ \AA},$$

$$(111)_D = (111) \text{, } d = 4,447 \text{ \AA},$$

$$(114)_D = (113) \text{, } d = 3,865 \text{ \AA}.$$

Doch fällt die Bewertung der Flächen ganz unterschiedlich aus. Die erste  $(112)_D$  zeigt bei zwar breit auseinandergezogenem Ionenbestand der silikatischen Schichten sehr gute Massierung und Isolierung der Kationen mit  $\Delta \varrho = 0,33$

Tabelle 3. Zweischichtenstruktur. Massenebenensatz nach  $(112)_D$ .

Nr.	$\varrho$	Teilgitter	$\Delta \varrho$	$\frac{\Delta \varrho}{\varrho}$ in Å ( $\varrho = 1 \sim 4,292$ Å)
	0	( $\pm 2$ Mg)		
1	0,0586	2 O <sub>III</sub> , 2 O <sub>IV</sub>	0,0174	
2	0,0760	2 OH, 2 O <sub>I</sub>	0,071	0,305
3	0,147	4 Si <sub>II</sub>	0,0393	
4	0,1863	2 Si <sub>I</sub>	0,0390	
5	0,2253	2 O <sub>IV</sub>	0,0318	
6	0,2571	4 O <sub>II</sub>	0,0176	
7	0,2747	2 O <sub>III</sub> , 2 O <sub>V</sub>	0,0586	0,252
8	0,3333	2 K + 4 Al	0,0765	0,328
9	0,4098	2 OH, 2 O <sub>I</sub>	0,0315	
10	0,4413	2 O <sub>V</sub>	0,0390	
11	0,4803	2 Si <sub>I</sub>	0,0394	
12	0,5197	2 Si <sub>I</sub>	0,0390	
13	0,5587	2 O <sub>V</sub>	0,0315	
14	0,5902	2 OH, 2 O <sub>I</sub>	0,0765	0,328
15	0,6667	2 K + 4 Al	0,0586	0,252
16	0,7253	2 O <sub>III</sub> , 2 O <sub>V</sub>	0,0176	
17	0,7429	4 O <sub>II</sub>	0,0318	
18	0,7747	2 O <sub>IV</sub>	0,0390	
19	0,8137	2 Si <sub>I</sub>	0,0393	
20	0,852	4 Si <sub>II</sub>	0,071	0,305
21	0,924	2 OH, 2 O <sub>I</sub>	0,0174	
22	0,9414	2 O <sub>III</sub> , 2 O <sub>IV</sub>		
	1	( $\pm 2$ Mg)		

bzw. 0,25 Å (Tabelle 3 und Abb. 7). Die strukturellen Vorbedingungen für eine Teilbarkeit, sofern man hier in analoger Weise wie beim Gleitvermögen etwa in Anlehnung an Überlegungen von J. STARK [13] Spaltbarkeit von Ionenkristallen verstehen will, scheinen demnach noch gegeben.

Ähnlich sind die Verhältnisse bei  $(111)_D$ . Einem dicken Paket des Anionenbestandes mit ziemlich großer Ebenenzahl einschließlich der Al (und zusätzlicher

Mg) steht eine Kationenisolierung in allerdings 2 Niveaus mit einem  $\Delta\varrho = 0,285 \text{ \AA}$  gegenüber. Die Bewertung ist im ganzen ungünstiger; wenn überhaupt, muß die Qualität des Trennungsvermögens gegenüber der vorigen Flächenart abgesunken sein.

Die von NIGGLI vorsorglich eingeführte  $(114)_D = (113)$  als Gegenstellung scheidet offensichtlich aus, da die Kationen in dem auf ziemlich weiten Identifi-

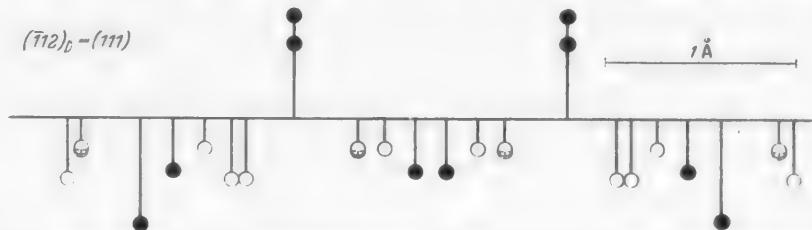


Abb. 7. Belastungsbild der „Trennungsfläche“  $(112)_D = (111)$  in der Zweischichtenstruktur.

tätsabstand von  $d = 3,866 \text{ \AA}$  verteilten Elementbestand völlig eingehüllt und auf 2 Niveaus aufgeteilt sind. Einige weite Abstände treten an anderer Stelle auf (jenseits der den K nahestehenden Si). Zusätzliche Mg-Ionen fallen nicht in das Niveau der K.

Die zu besprechende 2. Gruppe hat entsprechend der komplizierteren Indizierung (in wahrer Zelle) nur geringe  $\varrho$ ; es sind

$$\begin{aligned} (111)_D &= (331) \text{ mit } d = 1,479 \text{ \AA}, \\ (112)_D &= (335) \text{ „ } d = 1,438 \text{ \AA}, \\ (114)_D &= (337) \text{ „ } d = 1,280 \text{ \AA}. \end{aligned}$$

Die Fläche  $(112)_D$  bietet den Schein eines geringzähligen Ebenensatzes. Die gute Massierung des Kationenbestandes mit  $4\text{K} + 8\text{Al}$  auf ein Niveau, das zudem den relativ großen Abstand  $\Delta\varrho = 0,195 \text{ \AA}$  besitzt von dem Rand des auf engen Raum zusammengedrängten Anionenbestandes, läßt dabei ebenso zweifelhaft wie vorher in einem Falle erscheinen, ob diese Teilbefunde zur Erzielung einer Wirkung ausreichen. — Abgeschwächter zeigt  $(111)_D$  das gleiche Bild, in dem nun sogar noch die Al in das silikatische Schichtpaket einbezogen bleiben; die K haben nur den  $\Delta\varrho$ -Wert von  $0,15 \text{ \AA}$ . Man wird diese Struktur nicht mehr als von ausreichender Wirkung für einen Trenneffekt ansehen.

Nicht uninteressant ist wiederum  $(114)_D = (337)$ . Die Vereinigung der K und Al in einem Niveau gegenüber einem wenig verschmierten Restpaket, dessen äußere Ränder den Kationen gegenüber eine Massierung der Zentralatome Si zeigen, mag positiv gewertet werden. Aber die  $\Delta\varrho$ -Lücken sind sehr klein, nur  $0,088 \varrho = 0,13 \text{ \AA}$ . Es ist zweifelhaft, ob das System fähig der Teilbarkeit ist. Vielleicht ist gerade das Aufeinandertreffen der + aufgeladenen Massenzentren (Abb. 8) bei Anregung zur Abtrennung günstig? Da die zusätzlichen Mg auch in das Kationenniveau fallen würden, wäre die Situation für Biotite ausgeprägter.

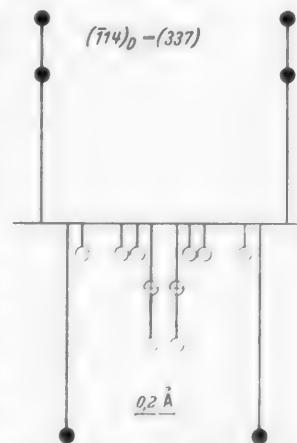


Abb. 8. Belastung der Massenzentrenreihe  $(114)_D = (337)$  in der Zweischichtenstruktur.

Der etwas unbestimmte Übergangscharakter in der Massenbesetzung der Serie nach (010) ( $\varrho = 1 \sim b_0$ ) — die Kationen liegen völlig im gleichmäßig verteilten Bestand mit jeweils  $\frac{2}{12} \varrho$  aufgeteilt — lässt diese Fläche, vielleicht wider Erwarten, recht wenig geeignet als Trennungsfläche erscheinen.

Die Beleuchtung auch von der Seite der Fragestellung nach den reißenden Bindungen innerhalb des  $\text{SiO}_4$ -Gerüsts ist für die Zone [110] von Interesse und Nutzen. Hier hat die Lage der einzelnen Tetraeder in den anionischen Schichten für die Schnitte  $\parallel [110]$  ein anderes Ergebnis als vorher. Je nach Lage des Schnitts durch die Zelle in (001) werden entweder 2 Bindungen auf die Länge  $2 d_{[110]} = 10,04 \text{ \AA}$  zerrissen, wobei deren Projektionen auf (001) senkrecht auf der Zonenrichtung stehen, oder es sind auf die gleiche Länge 4, deren Neigungswinkel in Projektion nur  $30^\circ$  gegen [110] beträgt. Analog ist das alles naturgemäß dann auch für [100].

Für die Mehrzahl aller Fälle scheinen diese Verhältnisse also von vornherein im ganzen viel ungünstiger zu liegen. Fragt man speziell nach den als „Trennungsflächen“ angegebenen Strukturflächenlagen, so zeigt sich folgendes: Die obige 2. Gruppe kommt unter diesem Gesichtspunkt mit ihrem ungünstigen Wert  $n = 3$  kaum in Frage. Zu denen der 1. Gruppe würde man noch (110) stellen mögen, dessen verschmierter Massenebenensatz indes die anderen Bedingungen so gar nicht erfüllt, während die Minimalzahl von 2 Bindungen jeweils getrennt wird. Bei den Typen (111) und (113) ist festzustellen, wie hier in den Einzelheiten zu erläutern zu weit führen würde, daß immer abwechselnd in einem Niveau 2, in einem anderen 4 Bindungen abgetrennt werden, wobei der Rhythmus des Wechsels ein verschiedener ist.

Es ist auffällig und interessant, daß damit hier geradezu ein atomistisches Abbild des von MÜGGE festgestellten fasrigen Charakters der Trennungsflächen aufgezeigt ist. Man stellt die Frage, ob die Deutung als Vergrößerungerscheinung erlaubt sei in Analogie zu jenen bekannten Erscheinungen des Kristallwachstums, denen man im Rahmen der energetischen Molekulartheorie jene Deutung zu geben geneigt war.

Vergleicht man hier den strukturellen Befund mit den zwar spärlichen Beobachtungen, so scheinen da, schon bei TSCHERMAK selbst, Irrtümer in der Aufstellung der Kristalle unterlaufen zu sein. Jedenfalls beobachtete TSCHERMAK Trennungsflächen, in der korrigierten Aufstellung nach KOKSCHAROW (bei C. HINTZE), in der Reihenfolge der Qualität wie folgt:

$$\begin{aligned}(221)_K &= (111)_D = (111) \\ (112)_K &= (114)_D = (337) \\ (111)_K &= (112)_D = (335) \\ (221)_K &= (111)_D = (331).\end{aligned}$$

Aber auch sonst ist der angebliche Erfolg nicht mit der strukturellen Bewertung übereinstimmend, wie man sieht. Hier wäre das Ergebnis neuer Erfahrungen abzuwarten. Doch stehen wir nicht an, unsere strukturellen Kriterien schon jetzt für eindeutiger und maßgeblich zu halten.

### b) Glimmer mit Einschichtenstruktur.

Nach dem Ergebnis der genannten Strukturuntersuchung von ST. B. HENDRICKS und M. E. JEFFERSON [3] dürfte die vorliegende Untersuchung nicht auf

den „Idealtypus“ beschränkt bleiben. Aber auf Grund der bisherigen Statistik und der vorliegenden Betrachtungen über Absonderungsflächen als Folgen angeblicher Gleitungen genügt es, die Einschichtenstruktur zu berücksichtigen.

Hierher gehören außer Li-Glimmern Biotite und Phlogopite. Unter den von HENDRICKS und JEFFERSON untersuchten 45 von insgesamt 99 Proben befinden sich der Biotit von Mursinsk, der Anomit von Greenwood Furnace, N.J., und Phlogopit von Burgess, Kanada, zu denen Schrifttumsangaben über Gleit- und Trennungsflächen vorliegen.

Die Tabelle 1 enthielt schon alles Wissenswerte über die Transformation der Strukturflächen, wie sie sich auf Grund der gegenseitigen Orientierung von Ein- und Zweischichtenstruktur (Abbildung 9, umgezeichnet gemäß der Originalfigur 2 bei HENDRICKS-JEFFERSON, l. c.) ergibt. Die Transformationsformel lautet in diesem Fall

$$(HKL)_{Tech} \rightarrow (\mathfrak{H}\mathfrak{R}\mathfrak{L})_H$$

mit

$$\mathfrak{H}:\mathfrak{R}:\mathfrak{L} = (-H):K:\left(\frac{H+L}{2}\right).$$

Zum Verständnis der nachfolgenden Daten und Abbildungen sowie des Vergleichs sei auf den verkleinerten Elementbestand der halben Zelle, in Formel 2  $K\text{Mg}_3(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}$ , aufmerksam gemacht.

Das Ergebnis der Prüfung des strukturellen Aufbaus der verschiedenen Flächentypen und -arten lässt sich hier, indem zugleich mit der Zweischichtenstruktur mit den fast übereinstimmenden Gitterdaten und wenig veränderten Atomkoordinaten verglichen wird, verhältnismäßig kurz abhandeln. Ermüdende Wiederholung an Einzelheiten möge unterbleiben.

Was zunächst die „Gleitflächen“ angeht, so ist das Strukturbild der Flächen  $(135)_D = (132)_H$  und  $(134)_D = (131)_H$  sehr ähnlich dem früheren. Man wird ihnen eine gute Gleitfähigkeit ebenso zubilligen. — Die Fläche  $(205)_D = (201)_H$  erscheint so viel ausgeprägter günstig dafür, daß es lohnend erscheint, dies in Tabelle 4 und Abb. 10 zur Darstellung zu bringen (S. 500).

Bei den gegenständigen Flächen verliefen die Proben ähnlich negativ wie früher. Auch hier ließe sich bei  $(205)_D$  sehr instruktiv zeigen, wie unter vergleichbaren Umständen fehlende Isolierung der maßgebenden „freien“ Kationen K der Struktur genügt, um eine Gleitfähigkeit offenbar hintanzuhalten.

Bei den Strukturflächen  $(104)_D = (101)_H$  und  $(104)_D = (305)_H$  sind die Daten, fast übereinstimmend mit den Verhältnissen in der Zweischichtenstruktur, im Sinne der Grundvorstellungen wenig günstig für ein Gleiten. Es erübrigts sich eine Darstellung in den Einzelheiten. (Angaben über Absonderung nach ihnen sind auch selten.)

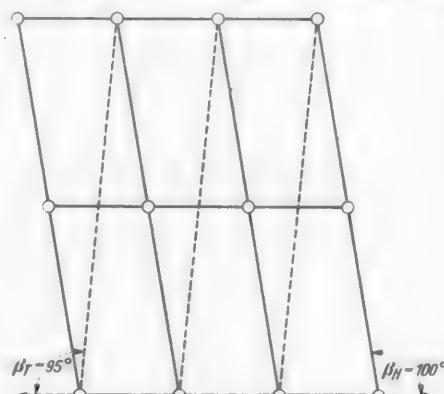
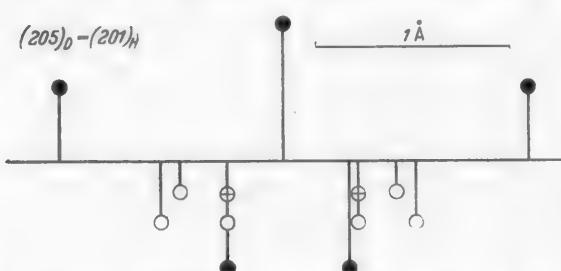


Abb. 9. Netzebene (010) der Einschichtenstruktur und ihre Beziehungen zur Zweischichtenstruktur (umgezeichnet nach HENDRICKS-JEFFERSON).

Tabelle 4. Einschichtenstruktur. Massenebenensatz nach  $(205)_D = (201)_H$ .

Nr.	$\varrho$	Teilgitter	$\Delta \varrho$	$\Delta \varrho$ in Å (für $\varrho = 1 \sim 2,424$ Å)
1	0	2 O <sub>V</sub>		
2	0,10	4 Si <sub>I</sub> 4 O <sub>III</sub> , 2 (OH) <sub>II</sub>	0,10	0,242
3	0,22	4 Mg <sub>I</sub> + 2 Mg <sub>II</sub>	0,12	0,290
4	{ 0,36 0,38 }	4 Si <sub>II</sub> 4 O <sub>II</sub> , 2 (OH) <sub>I</sub>	0,08	0,194
5				
5	{ 0,46 0,50 }	2 O <sub>VI</sub> 4 O <sub>I</sub>	0,24	0,582
6				
6	0,74	2 K	0,22	0,533
1'	{ 0,96 1,00 }	4 O <sub>IV</sub> 2 O <sub>V</sub>		

Das Bild, das die „Trennungsflächen“ bieten, ist auch hier komplizierter und im großen und ganzen das gleiche wie vorher. Für die in Abb. 11 wiedergegebene

Abb. 10. Belastungsbild von  $(205)_D = (201)_H$  in der Einschichtenstruktur.

Gesagte noch betont, wie die Abb. 12 lehrt; auch hier tritt die niedere Symmetrie sehr deutlich in Erscheinung.

Die Fläche  $(111)_D = (110)_H$  bietet bei stärkerer Einhüllung der Kationen in etwas ungleichmäßiger zerteiltem Anionenbestand ein noch ungünstigeres Bild als bei der Zweischichtenstruktur. Die negative Form  $(111)_D = (332)_H$  kommt ebenso wenig ernsthaft in Betracht.

Hinsichtlich der Fläche  $(114)_D = (111)_H$  ist nichts Neues über den negativen Befund bei der Zweischichtenstruktur hinaus zu sagen. Dagegen scheidet auch  $(114)_D = (335)_H$  bei ihrem kleinen Identitätsabstand und der vermehrten Einhüllung der zwar massierten Kationen im stark unsymmetrischen Massenebenensatz wohl ohne Bedenken völlig aus. Die bildhafte Darstellung kann unterbleiben.

Insgesamt gewinnt man auf struktureller Grundlage den starken Eindruck, wenn nicht gar die ziemlich sichere Erkenntnis, daß bei den Glimmern mit Einschichtenbau eine Teilbarkeit (Spaltung) quer zur Basis wenig Aussicht hat, verwirklicht zu werden. Dies würde man auch sonst aus theoretischen Gründen

Ebenenfolge von  $(112)_D = (111)_H$ , die die hier nun vorhandene Unsymmetrie deutlich heraustreten läßt, wären die aufgestellten strukturellen Kriterien wie früher noch leidlich erfüllt; in einem einzigen Niveau ist der Kationenbestand genügend massiert und isoliert. Für die entsprechende positive Form  $(112)_D = (331)_H$  gilt das früher

wohl ebenso erwarten, wie nach aller Erfahrung nicht beobachtet scheint, daß eine im Strukturaufbau unsymmetrische Massenanordnung zu diesem Effekt führen kann.

### III. Schlußfolgerungen.

Faßt man das Gesamtergebnis des Kapitels II kurz zusammen, so hat die kristallstrukturelle Durchmusterung einer großen Zahl von Strukturflächen bei der Ein- und der Zweischichtenstruktur der Glimmer folgendes ergeben:

*Eine geringe Auswahl der die silikatischen Netze querenden Stellungen zeigt in der Tat diejenigen strukturellen Kriterien, die bisher an Ionenkristallen für*

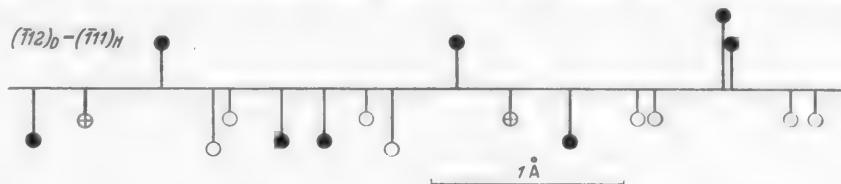


Abb. 11. Massenebenensatz von  $(T12)_D = (T11)_H$  in der Einschichtenstruktur.

diejenigen Strukturflächen als maßgebend befunden wurden, die Trennungen von Kristallteilen auf Grund von Bewegungen längs ihnen ermöglichen.

Es waren dies, wenn man sie modifiziert für die Glimmerschichtstrukturen ausspricht, folgende:

a) Eine relativ und absolut weitabständige Folge von Massenebenen nach der Strukturfläche;

b) eine starke Massenbelastung der einzelnen Ebenen;

c) insbesondere eine in diesem Sinne zugleich isolierte Massierung der „freien“ Kationen (K) der Glimmerstruktur, teilweise zusätzlich und dann offenbar begünstigend der Kationen (Al, Mg) der basischen Ränder des eigentlichen Glimmerschichtpakets.

Die Zahl der bei solchen Gleitungen reißenden Bindungen Si-O war augenscheinlich, zumal angesichts der geringen Unterschiede, von untergeordneter Bedeutung den anderen strukturellen Faktoren gegenüber.

Die vorsichtige Formulierung obiger Ergebnisse ist gewählt, weil praktisch sowohl die Trennungsspaltflächen als auch die Gleitflächen erfaßt werden und unterschiedliche Kriterien nicht bekannt sind, weil es im Grunde keine Molekulartheorie der Spaltbarkeit für das Idealgitter gibt. Das Unvermögen, hier unterscheiden zu können, stört unsere Aufgabe an dieser Stelle erheblich.

Die strukturellen Vorbedingungen scheinen nach der Überprüfung dieses Kapitels für eine Teilbarkeit nach Stellungen aus den Zonen der Strahlen der Schlagfigur, nach aller Erfahrung im wesentlichen nur als „Reißflächen“ bei der Schlagfigur auf (001) entstehend, im allgemeinen nicht sonderlich günstig, jedenfalls nicht für alle der im Schrifttum genannten. Die spärlichen Angaben hierüber sind also wenig geklärt und verständlich. Das Unbestimmte der

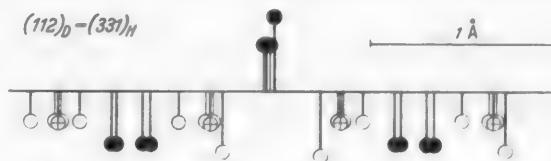


Abb. 12. Belastungsbild von  $(112)_D = (331)_H$  in der Einschichtenstruktur.

Erscheinung mag damit zusammenhängen. Der Effekt scheint von noch nicht aufgeklärten Zufälligkeiten abhängig, die nicht in dem Idealgitterbau liegen. Jedenfalls aber scheinen die nach dem Typus des Einschichtengitters aufgefundenen Glimmer in der Hinsicht wirklich ungünstiger gestellt zu sein. Dies ließe sich durch systematische experimentelle Untersuchungen wohl prüfen. Hier könnte auch der Ausgangspunkt neuer Erkenntnisse liegen.

Hält man auf der anderen Seite die Strukturprüfung und die alten mineralogischen Beobachtungen über *Absonderungen* zusammen, so scheint dem nichts im Wege zu stehen, im Sinne einer älteren, länger verlassenen Anschauung die Realität von Bewegungsvorgängen anzuerkennen und in ihr die Ursache für die Absonderung zu sehen. Es ist durch den besonderen Aufbau der Glimmerstrukturen bedingt, daß *der praktische Effekt wesentlich auf die Zone der Druckfigurstrahlen beschränkt* ist in wenigen Stellungen, die eine Qualitätsskala zeigen, wie sie im einzelnen hier nicht wiederholt werden soll. Die wirkliche Übereinstimmung beider behandelten und wichtigsten Typen scheint dabei angesichts der großen Strukturähnlichkeit bis in feine Züge hinein nicht verwunderlich. Aber gerade feine Unterschiede zeigen sich doch, z. B. hinsichtlich der Fläche (205)<sub>D</sub>, was aber mit dem Maß der Pseudosymmetrie etlicher Typen zusammenhängt. Es sollte nach der Theorie diese Form bei Biotiten reichlicher beobachtet werden. Merkwürdigerweise wird sie aber gerade bei Muskovit genannt, von dem nach der bisherigen Statistik von HENDRICKS-JEFFERSON keine zum Einschichtentypus gehören.

Ob es sich nun bei den angenommenen Deformationen um translatorisches Gleiten oder um Zwillingsbildung handelt, bleibt zunächst noch offen. Doch ergibt sich hierzu einmal folgendes:

Fragt man nach den mutmaßlichen Gleitrichtungen, so scheinen ohne weiteres die relativ kurzperiodischen Gitterrichtungen [010] und [310] mit den Parametern  $d_{010} = b_0 = 9,02 \text{ \AA}$  und  $d_{310} = 8,984 \text{ \AA}$  zur Verfügung zu stehen, womit auch die theoretische Forderung des ersten Leitsatzes von A. SMEKAL befriedigt wäre. Überlegt man sich aber, daß ein Gleiten längs ihnen, d. h. also innerhalb (001) und somit parallel den Schichten dieses schichtgitterartigen Strukturgebäudes, dem *Prinzip von STARK* zuwider wäre, das sich nun immer wieder bei Translationen von Ionengittern als bestätigt erwiesen hat, und legt man dem genügend Gewicht bei, so käme man zu dem Schluß, sich für den *Charakter der Deformationen als Schiebungen* zu entscheiden und die Beobachtungstat-sachen auf die Bildung von Zwillingslamellen zurückzuführen, wie man dies schon früher behauptete, ohne freilich jemals Lamellen gesehen zu haben, was aber erfahrungsgemäß nicht unbedingt dagegen zu sprechen braucht.

Welches die Gleitrichtungen sind, bleibt zunächst gänzlich ungewiß.

Es bahnt sich damit alsbald *ein Lösungsversuch für die scheinbar aufgetretenen Meinungsverschiedenheiten über das Gleitvermögen der Glimmer* an. Wäre nach diesen Darlegungen doch der folgende Tatbestand gegeben: Bei den Glimmerstrukturen mit netzartigen Bauzusammenhängen treten translatorische Gleitbewegungen auf längs diesen sekundären Strukturelementen und unter deren Erhaltung. Daneben gibt es, ungleich seltener, mechanische Zwillingsbildungen quer zu jenen, die unter Zerreißung derselben vor sich gehen müssen.

Dieser Befund scheint dann zu der folgenden Arbeitshypothese zu leiten und zu berechtigen, die das Ganze widerspruchsfrei löst, indem sie einfach *die Strukturdeformationen in einen klaren Zusammenhang mit der Art und dem Einwirkungsmodus der angreifenden Kräfte bringt*.

Ihr zufolge würden die einfachen translatorischen Gleitungen und die sie stets begleitenden Biegungen unter Erhaltung der sehr stabilen sekundären Strukturelemente der Netze unter mehr homogenen Beanspruchungszuständen eintreten, unter längerer Einwirkung hoher allseitiger Drucke oder bei geringen einseitigen Überbeanspruchungen, Zuständen, wie sie z. B. in Tiefentektonik wirksam sind, wie denn auch so deformierte Glimmer in Metamorphiten der Katazone vor allem beobachtet sein sollen. Die mechanischen Zwillingsbildung demgegenüber wären das Ergebnis höherer einseitiger Überbelastungen, zumal wenn sie noch von plötzlicher Art der Einwirkung und relativ kurzdauernd sind—Vorgängen, wie sie etwa bei Kluftverschiebungen, Bewegungen in der Epizone usw. Platz greifen. Hier sollen dann sogar Einregelungen nach steilen Pyramidenflächen vorkommen (ESKOLA in [2])<sup>1</sup>.

Die Naturbeobachtungen scheinen dieser Hypothese nicht zu widersprechen, wären jedoch unter diesem neuen Gesichtspunkt sorgfältig zu überprüfen.

So entstammen nach bisheriger Kenntnis die im Schrifttum genannten Glimmer (vgl. C. HINTZE, l. c.) mit natürlichen Absonderungen, Gangvorkommen und großkörnigen Kontaktvorkommen. Es sind, um die wesentlichsten und bekanntesten zu nennen,

- a) der schwarze Glimmer von Miask aus Miascit oder gangförmigen Vorkommen darin,
- b) dunkelbraune, grobblättrige Massen aus Gängen grobkörnigen Kalkspats mit Apatit und Baikalit von der Sludjanka in der Umgegend des Baikalsees,
- c) Lepidomelan aus den Syenitpegmatitgängen des Langesundfjordgebiets,
- d) dunkelolivgrüne größere Platten von Anomit von Greenwood Furnace bei Monroe, Orange Co., New York,
- e) Muskovit aus grobkörnigen steirischen Pegmatiten,
- f) die Muskovite aus den Pegmatiten vom Ilmengebirge, eingewachsen in Feldspat,
- g) Phlogopite von Burgess, Ratnapura und anderen Orten.

Selbst die Biotite vom Vesuv, die TSCHERMAK untersuchte, mögen in Analogie zu derartigen Vorkommen zu stellen sein.

Ganz ähnliche Verhältnisse scheinen übrigens bei *Strukturen mit linearen Bauzusammenhängen* vorzukommen. Diese *Analogie* würde eine Stütze der vorgeschlagenen Hypothese sein:

Es sei nämlich daran erinnert, daß es bei *Diopsid*, auch experimentell verifiziert (O. MÜGGE [6]), Zwillingslamellen nach der Basis (001) gibt, entstanden also durch Gleitbewegungen quer zu den stabilen Ketten, die dabei zerrissen sein müssen. Man wird annehmen dürfen, daß unter homogenen Beanspruchungszuständen die stabilen Ketten lange intakt bleiben und die Struktur höchstens

<sup>1</sup> Daß man bisher nie eindeutig Zwillingslamellen gesehen hat, ist kein Gegenargument gegen ihre Existenz. Sie brauchen nur genügend fein zu sein, um sich, zumal unter diesem Gesichtspunkt daraufhin nicht systematisch gesucht, ja überhaupt wohl nicht geachtet ist, der Beobachtung zu entziehen.

Ausgleichsbewegungen ihnen parallel gestattet, daß jedoch inhomogenen wie auch plötzlichen, kurzdauernden Einwirkungen gegenüber die Ketten leichter reißen und dann die genannte mechanische Zwillingsbildung ermöglicht ist. Die Beobachtungen scheinen auch hier dieser Deutung nicht entgegenzustehen. Beispielsweise sei gerade auf die Paragenese der Glimmer mit Absonderungen mit dem reichlich diese Verzwilligung aufweisenden Baikalit hingewiesen!

Interessanterweise gibt es bei Diopsid die zur vorigen reziproke Zwillingsbildung nach (100), das ist parallel den Ketten. Schon in anderem Zusammenhang konnte auf dieses Problem der gitterdynamischen Uneinheitlichkeit reziproker Schiebungen hingewiesen werden [11]. Das Naturvorkommen beider Lamellenarten sollte im Lichte unserer Arbeitshypothese sichtlich verschieden sein; die Lamellen nach (100) sollten Übergangscharakter zeigen.

Abschließend ein Hinweis! Die geschilderten Beziehungen zwischen einwirkenden Kräften und deformativen Auslösungen dieser Kristallstrukturen haben ein gewisses Analogon im *Verhalten amorpher Körper*. Pech „fließt“ bekanntlich bei langdauernder Beanspruchung durch äußere Kräfte; gegenüber kurzdauernden und plötzlichen Einwirkungen verhält es sich „spröde“, es bricht.

#### Literatur.

- [1] BAUER, M.: Z. Dtsch. Geol. Ges. Bd. 28 (1874) S. 137. — [2] ESKOLA, P.: In BARTH-CORRENS-ESKOLA, Die Entstehung der Gesteine. Berlin 1939. — [3] HENDRICKS, ST. B. u. M. F. JEFFERSON: Amer. Mineral. Bd. 24 (1939) S. 729. — [4] JACKSON, W. W. u. J. WEST: Z. Kristallogr. A Bd. 76 (1930) S. 211. — [5] MÜGGE, O.: Neues Jb. Min. (1898 I) S. 101. — [6] MÜGGE, O.: Neues Jb. Min. (1886 I) S. 185; (1889 I) S. 238. — [7] MÜGGE, O.: In ROSEN-BUSCH-MÜGGE, Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, S. 558. Stuttgart 1924. — [8] SCHMIDT, W.: Tektonik und Verformungslehre, S. 181. Berlin 1932. — [9] SEIFERT, H.: Z. Elektrochem. Bd. 50 (1944) S. 78. — [10] SEIFERT, H.: Z. Kristallogr. A Bd. 106 (1945) S. 50. — [11] SEIFERT, H.: Z. Phys. Bd. 124 (1947) S. 144. — [12] SMEKAL, A.: Z. Phys. Bd. 93 (1935) S. 166. — [13] STARK, J.: Jb. Radioakt. u. Elektr. Bd. 12 (1915) S. 279. — [14] TSCHERMAK, G.: Z. Kristallogr. Bd. 2 (1878) S. 125.

Aus dem Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Münster (Westf.).

## Über das anomale Mischsystem Kryolith $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ — Thenardit $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Von

HANS SEIFERT.

Mit 5 Textabbildungen.

(Eingegangen am 2. Juni 1948.)

### Inhalt.

Gewisse synthetische Kryolithen besitzen entsprechend dem Herstellungsverfahren eine hartnäckig anhaftende Verunreinigung von Schwefelsäure. Diese kann als der Einbau der Gastkomponente  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  nach Art anomaler Mischkristalle in Kryolith gedeutet werden. Die strukturelle Begründung für diese Deutung wird gegeben. Bekräftigt wird sie durch orientierte Aufwachslungen von Thenardit auf Kryolith.

### I. Regelmäßige Aufwachslungen von Thenardit auf Kryolith.

Der hypokubische  $\beta$ -Kryolith zeigt in seiner Struktur (nach NÁRAY-SZABÓ und SASVÁRI [1] (Abb. 1) leicht deformierte  $\text{AlF}_6$ -Oktaeder in der monoklinen pseudorhombischen Zelle. Die Na-Ionen sollen von zweierlei gittergeometrischem Typ sein: Die der Gruppe I haben gleichfalls schwach deformiertes Oktaederschema nächst umgebender F-Ionen, für die Gruppe II ist keine so regelmäßige Umgebung 6 nächster Nachbarn erkennbar. Jedenfalls handelt es sich im wesentlichen um eine mehr oder weniger dichte F-Packung mit entsprechend eingesetzten Kationen.

In kubischer Auffassung kann man eine allseitig flächenzentrierte Zelle aufbauen, die mit den  $\text{AlF}_6$ -Oktaedern und den Na der Gruppe I eine deformierte Steinsalzstruktur bietet, der zusätzliche Na-Ionen der Gruppe II eingebaut sind. Schneidet man die Flächen (101) oder (101) am Kristall an, so hat man in ihnen die leicht verzerrte pseudotrigonale Struktur einer „Oktaederfläche“ zu erwarten, wie schon makrokristallographisch aus den Winkeln vermutet werden kann:

$$(001):(101) = 55^\circ 02' \quad (110):(101) = 53^\circ 48' \\ (001):(101) = 55^\circ 17' \quad (110):(101) = 53^\circ 51'.$$

Ähnliches gilt auch für (011) mit

$$(001):(011) = 54^\circ 10' \\ (110):(011) = 55^\circ 35'.$$

Auf Grund der Gitterdaten des Kryoliths mit

$$a_0 = 5,46 \text{ \AA} \quad \beta = 90^\circ 11' \\ b_0 = 5,61 \text{ \AA} \quad C_{2h}^5; \quad z = 2 \\ c_0 = 7,80 \text{ \AA}$$

erhält man für die genannten monoklinen Prismen die folgende rechteckige zentrierte Gittermasche

$$\text{für } (101) \text{ und } (10\bar{1}) \quad b_0 \times d_{10\bar{1}} = 5,61 \times 9,52 \text{ \AA}^2.$$

Innerhalb der vorgegebenen Genauigkeit ist kein Unterschied erreichbar; es ist dabei  $d_{111} = 5,25 \text{ \AA}$ .

Es wurde nun die folgende experimentelle Erfahrung gemacht: Läßt man gesättigte  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -Lösung oberhalb  $32,5^\circ \text{C}$ , d. i. oberhalb der Stabilitätsgrenze des Thenardits gegenüber wässriger Lösung, auf angeschliffenen und durch Ätzung mit verdünnter Schwefelsäure aktivierten Oberflächenelementen (101) und (10\bar{1}) auskristallisieren — verwendet wurden primäre Kluftkristalle von  $\beta$ -Kryolith von Ivigtut —, so erhält man regelmäßige Aufwachslungen von Thenardit.

Thenardit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) hat nämlich bei den folgenden Gitterdaten (S. B. II, 88)

$$a_0 = 5,85 \text{ \AA} \quad D_{2\bar{h}}^{24}; \quad z = 8$$

$$b_0 = 12,29 \text{ \AA}$$

$$c_0 = 9,75 \text{ \AA}$$

in (010) das folgende pseudohexagonale Netz:

$$a_0 \times c_0 = 5,85 \times 9,75 \text{ \AA}^2;$$

ist doch dabei  $d_{101} = 5,685 \text{ \AA}$ .

Diese Aufwachslung, entfernt ähnlich der von Alkalihalogeniden auf Glimmer, ist mit ihrer Netzebenenanalologie genau so plausibel wie diese. Sie ist ihr auch insoweit analog, als gleichfalls drei um  $60^\circ$  gegeneinander verdrehte Orientierungen der nadlig verzerrten Kristalle von Thenardit zu beobachten sind, wobei zum Teil cerussitähnliche trigonale Netzwerke aufgewachsener Kriställchen gebildet werden — übrigens seine dem Thenardit sonst nicht eigentümliche und somit hier induzierte Zwillingsbildung. (Es ist hier darauf aufmerksam zu machen, daß die gewählte röntgenographische Aufstellung transformiert ist gegenüber der meist bekannten und auch im Handbuch von C. HINTZE verwendeten: Hier ist (010) die beste Spaltfläche, sonst (001); bekannt sind Zwillinge nach (101) in jener bisherigen morphologischen Aufstellung — sie sind anders als die hier beobachteten.)

Die orientierte Aufwachslung kann insofern als ein „Fortwachsen mit anderen Mitteln“ angesprochen werden, als beide Strukturen Na-Ionen gemeinsam haben und das Wachsen als durch eine „Simultanebene“ solcher vermittelt vorgestellt werden kann. Die beiden Projektionen der Abb. 2 und 3 geben in der nun schon bekannten Darstellungsmethode [2] die Strukturbilder der Verwachungsflächen und erläutern sehr schön die Verwachslung.

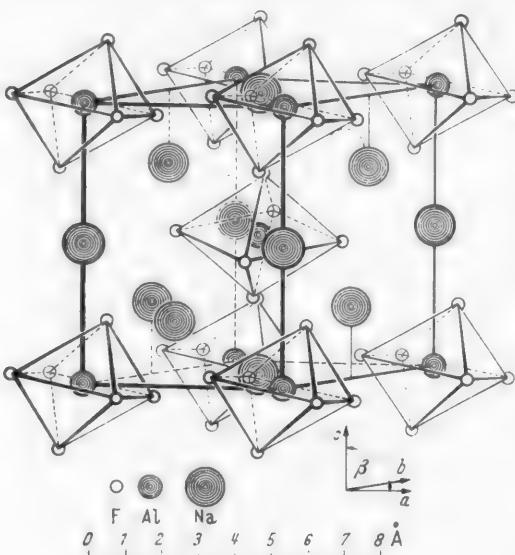


Abb. 1. Struktur von  $\beta$ -Kryolith  
(aus Strukturbericht II).

Sei nur auf die übereinstimmenden pseudohexagonalen Netze der Na-Ionen aufmerksam gemacht; dabei wird man bemerken, daß im  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  noch ein zweites derartiges System von Na-Schwerpunkten im gleichen Niveau zusätzlich zwischengeschaltet ist, jede Massenebene des Ebenensatzes nach (010) demnach ungewöhnlich hoch belastet ist ( $4 \text{ Na} + 2 \text{ SO}_4^{\cdot}$ !). Diesen Massenebenensatz demonstriert die nachfolgende Tabelle 1.

Tabelle 1. Thenardit. Massenebenensatz nach (010).

Nr.	$\varrho$	Teilgitter	$A\varrho$	$A\varrho$ in Å ( $\varrho = 1$ $\sim 12,29 \text{ \AA}$ )
1	0	4 Na, 2 S		
2	0,07	4 O	0,07	0,86
3	0,18	4 O	0,11	1,35
4	0,25	4 Na, 2 S	0,07	0,86
5	0,32	4 O	0,11	1,35
6	0,43	4 O	0,07	0,86
7	0,50	4 Na, 2 S	0,07	0,86
8	0,57	4 O	0,11	1,35
9	0,68	4 O	0,07	0,86
10	0,75	4 Na, 2 S	0,07	0,86
11	0,82	4 O	0,11	1,35
12	0,93	4 O	0,07	0,86
1'	1,00	4 Na, 2 S		

## II. Mischkristallbildung von Kryolith und Thenardit.

Die vorher kurz beschriebenen und strukturell gedeuteten Aufwachsversuche waren durch gewisse technische Erfahrungen angeregt.

Gewisse Verfahren synthetischer Kryolithgewinnung arbeiten in unabänderlicher Anwesenheit von beachtlichen Mengen von  $\text{SO}_4^{\cdot}$ -Ionen. Es hatte sich dabei gezeigt, daß der so hergestellte Kryolith schwefelsäurehaltig ist und daß diese Schwefelsäure eine hartnäckig haftende, von den Chemikern nicht abzubringende Verunreinigung darstellt. Der Gedanke, daß es sich dabei um irgend eine Form von Mischkristallbildung handelte, lag nahe. Die obige Verwachung gibt eine experimentelle kristallogenetische Grundlage zur Diskussion dieser Vorstellung, die, sofern sie plausibel begründet werden kann, auch das angezeigte technische Problem vielleicht seiner Lösung zuführen könnte.

Sei zunächst der Mechanismus der orientierten Verwachung in einem etwas vereinfachten Schema an Hand der Abbildungen noch weiter erläutert. Man kann sich ihn etwa so vorstellen: Ein Kryolithkorn sei etwa gewachsen bis zu den grau angelegten (101)-Schichten; die Na-Ionen sind jetzt in der Anlagerung

an der Reihe (vgl. die spätere Tabelle 2 des zugehörigen Massenebenensatzes). Gleichzeitig bzw. nachfolgend brauchen sich nun an dieser Grenzschicht statt

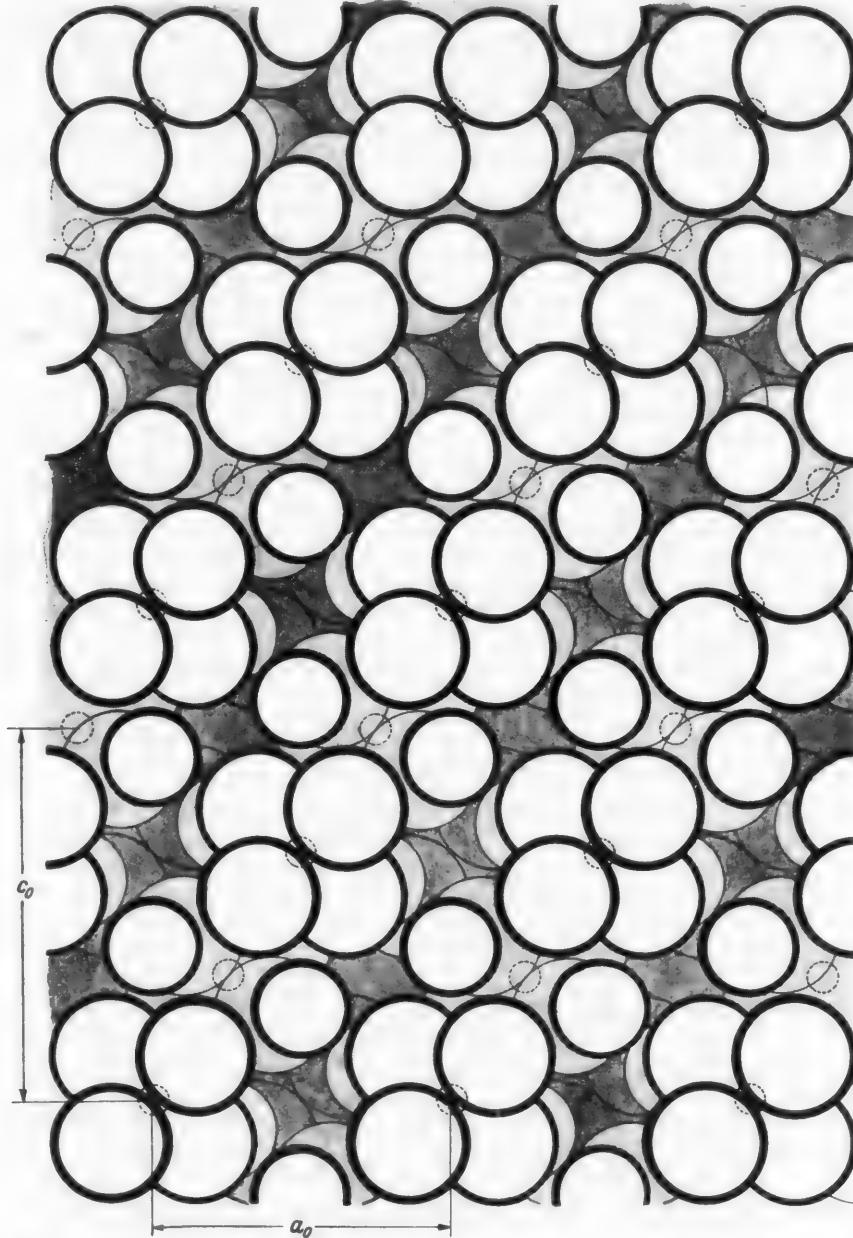


Abb. 2. Struktur einer Grenzfläche von (010) des Thenardit. (Gezeichnet ist eine Schicht von der Dicke  $\varrho = \frac{1}{4}$ ; obere Grenzfläche ist eine Lage von der Belastung  $4 \text{ Na} + 2 [\text{SO}_4]$ . Je stärker der Umriß der gezeichneten Ionenkugel, um so mehr nach dem Innern zu liegt das dargestellte Ion.)

der  $\text{AlF}_6$ -Oktaeder (aus eigener Mutterlauge) nur  $\text{SO}_4$ -Gruppen anzulagern, damit das „Fortwachsen mit anderen Mitteln“ gewährleistet ist, indem ja dann

die erste Keimschicht von  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (gemäß Abb. 2) gelegt ist. Die Darstellung (im gleichen Maßstab der Ionenradien und Gittergrößen) zeigt, wie ausgezeichnet

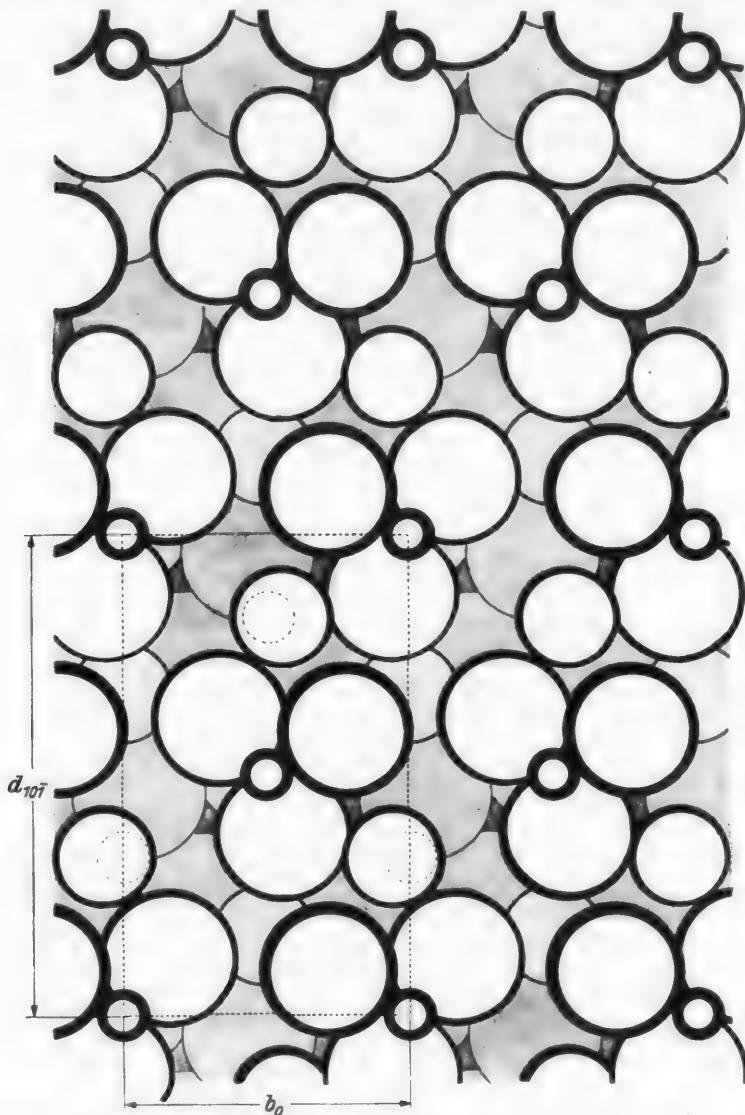


Abb. 3. Projektion der Struktur von  $\beta$ -Kryolith auf (101). [Gezeichnet ist eine Schicht nach (101) etwa von der Dicke  $\varrho = \frac{1}{4}$ . Obere Grenzfläche ist eine Al-Ebene, der zugehörige Komplex ist nur zur Hälfte dargestellt.]

die nicht einmal gleichräumige Gruppe  $[\text{SO}_4]$  in die Löcher (für  $\frac{1}{2} \text{AlF}_6$ ) paßt. Durch Übereinanderlegen der Zeichnungen würde man schlagend überführt werden, dies einzusehen.

Sind jetzt beide wachstumsfähige Substanzen im kristallisationsfähigen Bildungsmedium vorhanden, besteht keine Schwierigkeit einzusehen, daß der wachsende Kryolith, indem der Einfachheit halber ein halber  $\text{AlF}_6$ -Ionen in der

Lösung angenommen werden dürfen, in gleicher Weise statt dieser  $[AlF_6]^{3-}$  an gewissen Stellen  $[SO_4]^{2-}$  eingelagert. Entweder kann dies, je nach den Konzentrationsverhältnissen, der Beginn je eines eigenen Keimchens von  $Na_2SO_4$  sein, das als regelmäßig orientiertes Kriställchen einwächst, oder die  $SO_4$ -Ionen werden ionendispers eingeschlossen. Der verschiedenen Elektrovalenz der beiden Gruppen kann durch Füllen oder Lückenbildung an den umgebenden Plätzen für die  $Na$ -Ionen entsprechend Genüge geleistet werden.

Es ist damit der Gedanke eines mischkristallartigen Einbaus von  $SO_4$ -Ionen im Kryolithgitter ausgesprochen, und die in I erläuterte regelmäßige Aufwachstung von Thenardit auf Kryolith ist als eine Vorstufe dieser Mischkristallbildung erkannt. Die kurze Beschreibung des einfachen Vorgangs zeigt, daß es fast müßig ist, zu fragen, welcher Typus von Mischkristallbildung denn hier vorliege.

Angesichts der Verschiedenheit des Strukturbaus der beiden Substanzen, die hier mischkristallartig vereinigt sind, wird man dieses System als eines anomaler Mischkristallbildung ansehen. Hält man sich aber die sehr mögliche und wahrscheinliche ionendisperse Einschließung der  $SO_4$ -Ionen vor Augen, so ist kaum ein rechter Unterschied gegenüber einer echten Mischkristallbildung zu sehen. Es liegt hier einer jener typischen Grenzfälle vor, der nur die ganze Toleranz natürlichen Geschehens und das Verfließen der Grenzen unserer klassifikatorischen Gruppen anzeigt.

Man wird gegen die bisherige Darstellung vielleicht einwenden, der Kryolith wachse nicht nach diesen, sondern nach anderen Flächen, den Pseudowürfelflächen (001) und (110). Dazu mag Folgendes gesagt sein: Von der Kristalltracht des synthetischen Kryoliths ist gar nichts bekannt und bei dem feinen Korn dieses Produkts auch nichts festzustellen. Eine Änderung der Tracht durch den Einfluß des beim Wachstum anwesenden und zugleich eingeschlossenen Lösungsgenossen wäre grundsätzlich durchaus möglich. Aber schließlich wächst auch das Steinsalz nach (100), ähnlich andere Salze dieses Typus AB, und wir kennen anomale Mischkristalle unveränderter Tracht mit eingelagerten Gastkomponenten, die sicher nicht „nach (100)“ eingelagert sind. Wir können wachstumsenergetisch mit KOSSEL und STRANSKI das Steinsalzwachstum nach dem Würfel verstehen und die Kinematik atomistisch deuten. Wir können ebenso das Wachstum nach dem Oktaeder nach den Grundsätzen dieser Theorie noch nicht recht verstehen und erklären. Dennoch kennen wir das Wachstum der (111)-Flächen makrokristallographisch, und wir können uns in atomistischen Dimensionen deren Treppenbau würfliger Subindividuen jedenfalls plausibel machen und beispielsweise auch eine Adsorption des Lösungsgenossen Harnstoff in irgendeiner Form mit ihm in gedanklichen Zusammenhang bringen, wobei bekanntlich hier dieser Lösungsgenosse in den wachsenden Kristall nicht ein geht. Warum sollte also nicht auch Kryolith nach (001) und (110) wachsen und dennoch im Sinne der vorigen Überlegungen die Gastkomponente nach (101) usw. einbauen?

Aber dieses „nach“ braucht nicht einmal so wörtlich genommen zu werden. Vielleicht geht der Einbau des Fremdstoffes überhaupt nicht nach einer bestimmten Wachstumsfläche. Die  $SO_4$ -Ionen nehmen an bestimmten Örtern

gelegentlich den Platz der  $\text{AlF}_6$  ein. Der Einbau mag, wie das vorher schon angenommen wurde, in atomistischen Dimensionen, ionendispers, verbleiben. Es käme also darauf an anzuerkennen, daß dies auch beim Wachstum des Kryolith nach anderen Flächen, also etwa, ohne Trachtbeeinflussung, nach seinen üblichen der Fall sein könnte. Dies dürfte zugebilligt werden.

Einige weitere strukturelle Beziehungen der beiden Gittertypen, deren Erörterung wir uns jetzt noch kurz zuwenden, legen dies auch nahe. Die Abb. 4

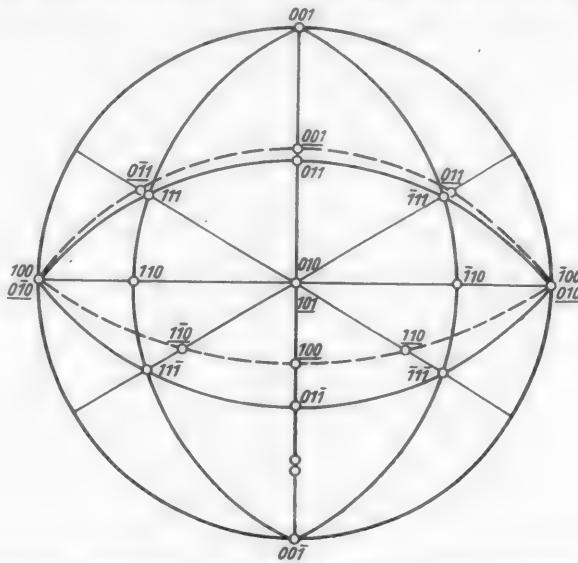


Abb. 4. Stereographische Projektion von Kryolith auf (101) in Überlagerung auf die von Thenardit auf (010). (Einige Zonenbögen von Kryolith sind gestrichelt, die Flächenindizierungen unterstrichen.)

zeigt eine Übereinanderzeichnung von zwei stereographischen Projektionen, der von  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  auf (010) und der von Kryolith auf (101), also auf die Flächen, nach denen die beiden Kristallarten sicher eine regelmäßige Verwachsung eingehen. Diese Projektion läßt dann Folgendes erkennen:

Die Analogie der Strukturen ist eine weitergehende. Decken sich  $(010)_{\text{Th}}$  und  $(101)_{\text{Kr}}$ , dann fallen auch fast die Zonen  $[011]_{\text{Th}}$  und  $[100]_{\text{Kr}}$  zusammen; es decken sich dann zugleich angenähert auch  $(011)_{\text{Th}}$  und  $(001)_{\text{Kr}}$ , sowie  $(111)_{\text{Th}}$  und  $(011)_{\text{Kr}}$ ; ähnlich ist es noch mit  $(014)_{\text{Th}}$  und  $(101)_{\text{Kr}}$ . (Daß sich ein ganz analoges Bild zeigt, wenn man  $(101)_{\text{Kr}}$  mit  $(010)_{\text{Th}}$  zur Deckung bringt, dürfte man erwarten; es sei dies nicht gesondert vorgeführt.)

Es ist nun nicht so, daß besonders gute Übereinstimmungen in den Perioden kennzeichnender Gittergrößen formal sichtbar würden, nach der Art, wie sie A. NEUHAUS [3] an manchen der von ihm bearbeiteten anomalen Mischsysteme abzuleiten versuchte, um damit den Wachstumsmechanismus nach synchronen Gitterblöcken bzw. Gitterblöckchenschichten von Wirt- und Gastkomponente plausibel zu machen. Es stehen sich hier nämlich gegenüber:

$$\begin{aligned} \text{Thenardit } b_0 &= 12,29 \text{ Å} = 3 \times 4,097 \text{ Å} \\ \text{Kryolith } a_{101} &= 4,463 \text{ Å}, \end{aligned}$$

was immerhin eine Differenz von etwa 8% des kleinen Parameters bedeutet.

Vielmehr liegen diesen kristallgeometrischen Beziehungen erklärbare strukturelle Analogien zugrunde, die auf der Ähnlichkeit der Sauerstoff- bzw. Fluorionenpackung der beiden Strukturen beruhen. Man verfolgt diese vielleicht am besten, wenn man die Massenebenenfolge von  $(010)_{\text{Th}}$  — vgl. Tabelle 1 — mit der von  $(101)_{\text{Kr}}$  gemäß der nachfolgenden Tabelle 2 vergleicht und diese beiden in ihrer Projektion in  $(100)_{\text{Th}} = (010)_{\text{Kr}}$  sich anschaulich macht.

Tabelle 2. *Kryolith. Massenebenensatz nach (101).*

Nr.	$e$	Teilgitter	$\Delta e$	$\Delta e \text{ in } \text{\AA}$ ( $e = 1$ $\sim 4,463 \text{\AA}$ )
1	0	2 Al	0,09	0,40
2	0,09	2 F	0,17	0,76
3	{ 0,26 0,285}	2 Na + 2 F 2 F	0,215	0,96
4	0,50	2 Na	0,215	0,96
5	{ 0,715 0,74}	2 F 2 Na + 2 F	0,17	0,76
6	0,91	2 F	0,09	0,40
1'	1,00	2 Al	⋮	⋮

Bei Thenardit ist jeweils der Abstand der mit Na-Ionen besetzten Ebenen  $\frac{1}{4} b_0 = 3,097 \text{\AA}$ . Dem entspricht bei Kryolith ungefähr der Abstand einer Ebene von Na-Besetzung (Nr. 4 der Tabelle) von einer solchen andersartig besetzten jenseits des Niveaus der Zentralatome der Komplexe (Nr. 3' der Tabelle) mit  $1,16 + 2,23 = 3,39 \text{\AA}$ . Bringt man sich danach etwa, wie es in Abb. 5 dargestellt ist, die Folge von drei solchen Na-Ebenen in der Wachstumsrichtung zur Deckung ( $\sim \frac{1}{2} b_0$  auf Thenardit), wobei auch die die zentralen Na-Ebenen unmittelbar umgebenden Fluor- bzw. Sauerstoffionen in etwa gleiches Niveau fallen, so entsteht ein gewisser Hiatus. Dieser müßte sich, sollte das Wachstum nach (101) in syngenetischen Gitterblöckchen vor sich gehen, bereits hier als ein „Außerphase-Kommen“ kinematisch auswirken, was als ein Anzeichen zu werten sein dürfte, daß ein besonders feiner subzellärer bis ionendisperser Einbau der Gastkomponente das Wahrscheinlichere ist.

Die jeweils charakteristische Schichtung der Ionenpackung ist es offenbar, nicht die erst sekundäre formale Übereinstimmung von Gitterperioden, die bei anomalen Mischsystemen über die eine erste Verwachsung bedingende zweidimensionale Struktur analogie hinaus auch gewisse räumliche Übereinstimmungen, also ein Hinzutreten von Analogien auch nach der dritten Dimension,

in Erscheinung treten lassen. Deshalb liegt in jenen Formalanaloga „pseudo-dreidimensionalen“ Charakters nicht das Wesen der anomalen Mischkristalle und nicht die Ursache ihres Bildungsmechanismus.

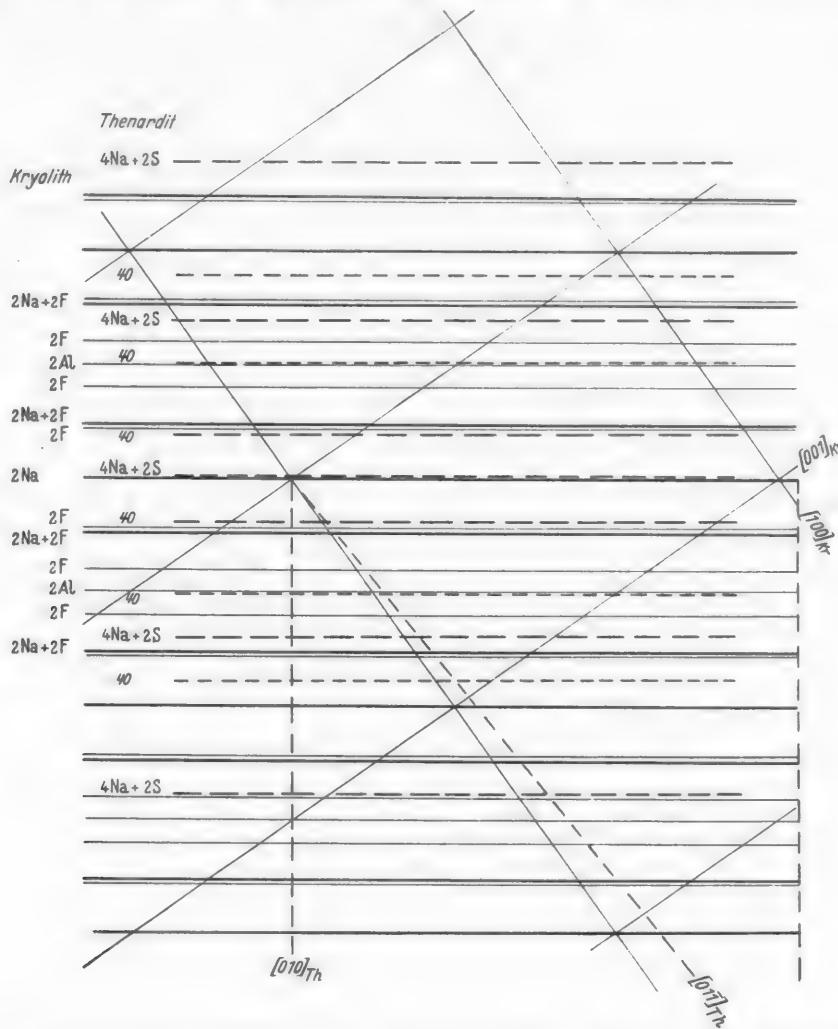


Abb. 5. Vergleich der Massenebenenfolge von (101) des Kryolith mit der von (010) des Thenardit, projiziert auf (010)<sub>Kr</sub> || (100)<sub>Th</sub>. (Es ist mit Tabelle 1 und 2 zu vergleichen!)

Hinsichtlich der anderen strukturanalogen Gitterelemente ist noch dies hinzuzufügen:

Die Netzzeichnung nach  $(100)_{\text{Th}} \parallel (010)_{\text{Kr}}$  lässt auch die nahe Übereinstimmung der Lage von  $[100]_{\text{Kr}}$  und  $[011]_{\text{Th}}$  bei der gewählten fixen Orientierung erkennen. Es ist dabei

$$\text{Th: } 2d_{01\bar{1}} = 2 \times 7,844 \text{ \AA} = 15,688 \text{ \AA}$$

$$\text{Kr}: 3a_0 = 3 \times 5,46 \text{ \AA} = 16,38 \text{ \AA}.$$

Die Netze der nahe zusammenfallenden Flächentypen  $(001)_{\text{Kr}}$  und  $(011)_{\text{Th}}$  sind

$$\text{Kr}:(001): a_0 \times b_0 = 5,46 \times 5,61 \text{ \AA}^2$$

$$\text{Th}:(011): d_{011} \times a_0 = 7,84 \times 5,85 \text{ \AA}^2.$$

Polymere Netzanalogie ist vorhanden in Gestalt von

$$3a_0 \times b_0 = 16,38 \times 5,61 \text{ \AA}^2 \sim 2d \times a_0 = 15,69 \times 5,85 \text{ \AA}^2.$$

Der entsprechend ausgeführte Versuch einer orientierten Aufwachstung von Thenardit auf der aktivierten Wachstumsfläche  $(001)$  des Kryolith war immerhin dann von positivem Erfolg begleitet, sowie es sich um die feinsten nadelförmigen Restkristallisationen verdunstender Tröpfchen der Mutterlauge handelte.

#### Literatur.

- [1] NÁRAY-SZABÓ, S. v. u. K. SASVÁRI: Z. Kristallogr. Abt. A, Bd. 99 (1938) S. 27. —
- [2] SEIFERT, H.: Z. Kristallogr. Abt. A, Bd. 96 (1937) S. 111. — Fortschr. Mineral., Kristallogr., Petrogr. Bd. 22 (1937) S. 185. — [3] NEUHAUS, A.: Z. Kristallogr. Abt. A, Bd. 104 (1942) S. 197.

1. Band.	Inhaltsverzeichnis.	4. Heft. Seite
JASMUND, KARL, Abtrennung und Bestimmung von kolloidalen Kornklassen mit einer Durchlaufzentrifuge. Mit 23 Textabbildungen. (Hagenow i. Mecklbg., 19. 1. 1913.)	341	
SCHUMANN, HILMAR, Die mikroskopische Unterscheidung von Mineralen der Karbonatgruppe. Mit 1 Textabbildung. (Potadam, 8. 11. 1902.) . . . . .	381	
BORCHERT, WERNER, Rechenschema für PATTERSON-Analysen. (Kiel, 4. 3. 1910.) . . . . .	394	
STEINMETZ, HERMANN, Über zwei Cölestinvorkommen vom nördlichen Alpenrand. Mit 1 Textabbildung. (Regensburg, 31. 12. 1879.) . . . . .	399	
NICKEL, ERWIN, Plagioklaseinschlüsse in Sanidineinsprenglingen der Nevadite von den Cerros Alifragas. Mit 3 Textabbildungen. (Frankenstein i. Schlesien, 11. 5. 1921.)	403	
SCHACHNER-KORN, DORIS, Ein metamorphes Erzgefüge. Mit 3 Textabbildungen und 9 Diagrammen. (Zwickau, 30. 5. 1904.) . . . . .	407	
NICKEL, ERWIN, Beiträge zur Petrographie des Odenwaldes. IV. Wechselbeziehungen zwischen Dioriten, Graniten und Schiefern im westlichen Odenwald. Mit 28 Textabbildungen und 1 petrographischen Karte. (Frankenstein i. Schlesien, 11. 5. 1921.)	427	
KORITNIG, SIGMUND, Ein Nomogramm zur Bestimmung der veränderlichen Lichtbrechungsquotienten in beliebigen Schnitten optisch ein- und zweiachsiger Kristalle, sowie zur Bestimmung des Achsenwinkels $2V$ . Mit 9 Textabbildungen und 6 Tafeln. (Graz, 25. 12. 1912.) . . . . .	471	
SEIFERT, HANS, Über das Gleitvermögen der Glimmer. Mit 12 Textabbildungen. (Altona a. d. Elbe, 24. 4. 1893.). . . . .	486	
SEIFERT, HANS, Über das anomale Mischsystem Kryolith $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ —Thenardit $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Mit 5 Textabbildungen. (Altona a. d. Elbe, 24. 4. 1893.) . . . . .	505	

**Für die nächsten Hefte sind zur Veröffentlichung vorgesehen:**

- R. MOSEBACH: Das Messen optischer Gangunterschiede mit Drehkompensatoren.
- K. SPANGENBERG: Beiträge zur Kenntnis der Lagerstätten dichten Magnesits.
1. Der Tremolitdunit vom Galgenberg bei Zobten.
  2. Die Zersetzungprodukte des Olivins aus dem Muttergestein der Lagerstätten dichten Magnesits vom Galgenberg bei Zobten.
  3. Die hydrothermale Zersetzung des Peridotites bei der Bildung der Magnesitlagerstätten vom Galgenberg bei Zobten. (Mit MARTHA MÜLLER.)
- K. SPANGENBERG und MARTHA MÜLLER: Die lateritische Zersetzung des Peridotits bei der Bildung der Nickelerzlagerstätten vom Frankenstein in Schlesien.
- WERNER NOLL: Zur Kristallchemie des Zinnsteins.
- O. H. ERDMANNSDÖRFFER: Der jetzige Stand des Granitproblems.
- ARNO SCHÜLLER: Ein Plagioklascharnokit vom Typus Akoafim und seine Stellung innerhalb der Charnokitserie.
- H. SCHUMANN: Nachweis von Nickel in der Phosphorsalzperle.

**Mineralogie u. Petrographie in Einzeldarstellungen**Herausgegeben von **F. K. Drescher-Kaden** und **O. H. Erdmannsdörffer**

---

Erster Band

---

**Die Feldspat-Quarz-Reaktionsgefüge  
der Granite und Gneise  
und ihre genetische Bedeutung**

Von

**F. K. Drescher-Kaden**

Mit 210 Textabbildungen. XI, 259 Seiten. 1948. M 39.—

**Inhaltsübersicht:**

Einleitung. — Die Reaktionsgefüge der Feldspäte. — Myrmekit und Schriftgranit. Einkorn und Zweikorn-Reaktionsgefüge. — Der Myrmekit als Zweikorn-Reaktionsgefüge. — Die Genese des Myrmekits. — Schriftgranit und Schriftpegmatit als Einkorn-Reaktionsgefüge. — Genetische Fragen, Reaktionsgefüge und Metasomatose. — Die Feldspatisierung des Quarzes und die Entstehung granophysischer Strukturen. — Die Kristalloblastese und ihre Beziehung zu Reaktionsgefügen. — Die Raumfrage des wachsenden Kristalls. — Chemische Umformung des Korngefüges. — Das Verhalten des wachsenden Kristalloblasten gegen die Kornarten des Grundgewebes. — Der Muskovit-Zoisit-Zerfall der Feldspäte am Beispiel der Protogine. — Schlussbetrachtungen. — Die Myrmekit- und Schriftquarzbildung als Ergebnis der oszillierenden Hydrothermalperioden granitischer Gesteinsgenese. — Der Gegensatz von Erstarrungsgesteins- und Granitstruktur. — Der genetische Zusammenhang zwischen der Gangbildung der Granite und ihrer Muttergesteinskristallisation.

**Kleines Lehrbuch der Physik  
ohne Anwendung höherer Mathematik**

Von

**Wilhelm H. Westphal**  
Berlin

Mit 283 Abbildungen. VIII, 251 Seiten. 1948. Halbleinen M 9.60

---

**SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG**

---

